



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Comportamiento mecánico de Vigas Doble T con un alma de OSB y adhesivo estructural

Patrocinante: Sr. Héctor Cuevas D.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero en Maderas.**

SERGIO ENRIQUE ANTONIO GALLARDO PALMA

VALDIVIA
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Héctor Cuevas Doering	6.7
Informante:	Sr. Hernán Poblete Wilson	6.5
Informante:	Sr. Fabián Cid Yáñez	6.0

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos del contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Héctor Cuevas D.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera aprovechar esta ocasión de agradecer especialmente a mis padres y hermanos, que me han dado su apoyo en cada proyecto que me he propuesto.

Agradecer de manera especial a Cristina y Enrique que me acogieron en su casa y me entregaron lo mejor de ellos.

Sin olvidarme de ellos agradecer a mi novia, amigos y compañeros que de una u otra forma me apoyaron entregándome todo su amor, apoyo y amistad.

También agradecer a mi profesor patrocinante, don Héctor Cuevas Doering, por su buena disposición, preocupación y dedicación durante la realización de este trabajo.

Por supuesto agradecer a mis profesores informantes don Hernán Poblete y don Fabián Cid, por sus sabios consejos, correcciones y acertadas críticas.

Darle mis agradecimientos a cada persona, profesor que trabaja en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales, que durante los años de carrera han sido excelentes personas.

Por último agradecer a Empresas Fourcade S.A., al Sr. Félix Briones y al Sr. Álvaro García representante de National Adhesives, por darme la oportunidad y las facilidades para poder desarrollar este trabajo.

A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS.

*A mis Padres Sergio y Felma por la entrega de su amor
y comprensión en todo momento.
Al amor de mi vida Andrea por acompañarme
incondicionalmente en este largo camino*

INDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Vigas	3
2.2 Vigas Doble T	4
2.2.1 Descripción del alma	4
2.2.2 Descripción de las alas	4
2.2.3 Características geométricas de las vigas	5
2.2.4 Uniones dentadas (Finger – Joints)	5
2.3 Propiedades mecánicas	6
2.3.1 Flexión Estática	6
2.4 Factores que afectan las propiedades mecánicas	7
2.4.1 Defectos	7
2.4.2 Densidad	7
2.4.3 Contenido de humedad	8
2.4.4 Temperatura	8
2.4.5 Albura y duramen	8
2.4.6 Tratamiento de la madera	8
2.5 Método de Impregnación Vacío – presión	9
2.6 Tableros OSB	9
2.7 Adhesivo en base a Poliuretano	9
3. MATERIALES Y MÉTODO	11
3.1 Materiales	11
3.1.1 Madera	11
3.1.2 Tableros OSB	11
3.1.3 Adhesivo	11
3.1.4 Equipo de aplicación de cargas	12
3.2 Método	14
3.2.1 Construcción de las vigas	14
3.2.2 Tamaño de la muestra	15
3.3 Preparación de las vigas	15

3.3.1	Luz de ensayo	15
3.3.2	Ubicación de los puntos de carga	15
3.3.3	Determinación del peso de las vigas	16
3.4	Descripción general del ensayo	16
3.5	Ejecución del ensayo	16
3.6	Cálculos	17
3.7	Tratamiento de resultados	18
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	19
4.1	Flexión estática	19
4.1.1	Módulo de Elasticidad (MOE)	19
4.1.2	Módulo de Rotura (MOE)	20
4.1.3	Cargas máximas	21
4.2	Determinación de fallas	22
4.2.1	Fallas críticas	25
4.2.2	Fallas complementarias	31
5.	CONCLUSIONES	33
6.	BIBLIOGRAFIA	35
	ANEXOS	
1	Abstract	
2	Cuadro y Gráfica carga v/s deformación	
3	Cuadro Módulo Elasticidad y Módulo Rotura	

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio nace del interés de la Constructora Fourcade S.A. por cambiar el adhesivo actualmente utilizado por PURBOND 222, debido a que este presenta un fraguado más rápido.

Por ello la constructora se interesó en conocer como se comportan las uniones dentadas y la viga en general con este nuevo adhesivo estructural y un alma en base a tablero OSB, al ser sometidas a esfuerzo de flexión estática. Situación de carga en el cual prestan servicio.

El método de trabajo utilizado se basó en analizar cuatro tipos de vigas, las cuales se diferencian entre si por su altura. En este tipo de vigas, el empalme para formar las alas mediante uniones dentadas y la unión del tablero con estas se realizó con el adhesivo antes mencionado, generando así una estructura liviana, de fácil maniobrabilidad y perfectamente utilizable en estructuras definitivas.

Con el claro objetivo de evaluar las propiedades mecánicas de las vigas doble T, sometidas a flexión estática con carga distribuida a los tercios de la luz de ensayo, se trabajó en el banco de pruebas del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Control de Obras (LEMCO), ubicado en el campus Miraflores de la Universidad Austral de Chile.

Mediante los ensayos de flexión, se obtuvieron valores de carga y deformación, tomando lecturas de éstos cada 10 segundos. Con la información obtenida se determinó el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Rotura.

Posterior a cada uno de los ensayos realizados, se observó el tipo de fracturas que determinaba las fallas críticas y complementarias de las vigas y se elaboró un cuadro identificando las fallas en seis tipos.

Finalmente, como resultado se obtuvo que al aumentar la altura del alma, el MOE disminuye, rescatando como la mejor altura de trabajo 250 mm.

Se identificó que las mayores deformaciones se presentaron en las alturas de 150 y 200 mm y las menores en 300 mm.

Con relación a las cargas máximas, a medida que se incrementa la altura hasta 250 mm, se incrementan las cargas máximas.

En los resultados obtenidos para MOR, existe un aumento de un 6.5% al aumentar la altura de 150 a 200 mm, posibilitando aumentar la capacidad de carga.

A partir, de una altura de 200 mm, el MOR comienza a disminuir al aumentar el alma de la viga en 50 mm.

Palabras Clave: *Viga Doble T, tablero OSB, adhesivo, flexión estática, propiedades mecánicas.*

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de construcción modernas, contemplan el uso de modelaciones y elementos prefabricados que han hecho de la industria de la construcción un sector muy dinámico en el diseño y producción de elementos que respondan a la tendencia mundial de bajar los costos, mejorar la eficiencia y proveer a la construcción de materiales con propiedades físicas y mecánicas que respondan al entorno y al estándar requerido.

Por otro lado los diseños juegan un papel fundamental en cuanto a disminuir secciones y mejorar la serviciabilidad de las estructuras, con relación a facilitar las instalaciones incorporadas.

En este contexto, las construcciones en madera se han visto impactadas con la aparición de industrias que entregan elementos tales como, paramentos verticales y estructuras de techumbres que han reducido los tiempos de ejecución y los defectos propios de este tipo de construcción, manteniendo controladas las propiedades físicas de las piezas de madera, además de otorgarles características de mayor estabilidad dimensional y durabilidad mediante procesos de impregnación a vacío – presión.

La aparición de las Vigas Doble T, con alas de pino impregnado a vacío - presión, prestan servicios como vigas de piso u otro sistema resistente, por esto el conocimiento que se tenga sobre sus parámetros físicos y mecánicos resulta ser fundamental.

La empresa Constructora Fourcade S.A. trabaja en la confección de este tipo de vigas para la construcción de viviendas en donde son utilizadas como sistemas resistentes. Actualmente estos elementos son confeccionados con alma de contrachapado y adhesivo estructural en base a Isocianato conocido como UR – 218.

Este estudio nace del interés de la empresa por cambiar el adhesivo por PURBOND 222, debido a que este presenta un fraguado o curado más rápido que el actualmente utilizado.

Por ello la constructora esta interesada en conocer como se comportan las uniones dentadas y la viga en general con este nuevo adhesivo estructural y un alma en base a tablero OSB, al ser sometidas a esfuerzo de flexión estática. Situación de carga en el cual prestan servicio.

Para este efecto, en las instalaciones de la citada empresa se fabricaron Vigas Doble T con alas de pino Radiata impregnado a vacío - presión con empalmes de cabeza en base a uniones dentadas y alma de tablero OSB unidas mediante adhesivo PURBOND 222.

El objetivo general de este estudio es, por tanto, conocer el comportamiento de estas vigas al ser sometidas a esfuerzos de flexión estática, mediante la determinación de su rigidez y por otro lado la tensión unitaria máxima en flexión.

Por otra parte, sobrepasar las cargas máximas de las vigas produciendo la rotura, para así, determinar que elemento de estas falla y donde esta falla se produce.

Para lograr este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Medir el MOE, (módulo de elasticidad) en flexión estática
- Determinar el MOR, (módulo de rotura) en flexión estática.
- Analizar y describir los tipos de fallas que presentan los elementos de las vigas al sobrepasar sus cargas máximas.

2. MARCO TEÓRICO

Todo sistema estructural esta constituido por un conjunto de elementos que interactúan entre si, asegurando la estabilidad del conjunto y trasladando a los apoyos las cargas que soportan. Dentro de este conjunto, existen elementos que cumplen funciones de características similares y que permiten agruparlos bajo términos genéricos, como los pilares, vigas, diagonales y otros.

No obstante, es posible aislar, para su análisis, cada uno de los elementos, ya que cumplen funciones estructurales específicas y además, en algunos casos, se presentan como elementos aislados. Uno de los componentes básicos que integran un sistema constructivo es la viga, cuya función específica es salvar luces, es decir, dejar una distancia libre entre dos o más apoyos consecutivos.

A continuación se da a conocer la nomenclatura empleada, tanto para la determinación de las características geométricas, como para la obtención de las propiedades mecánicas de las vigas en estudio. Las relaciones matemáticas a utilizar se fundamentan en los principios básicos de la mecánica de sólidos que permiten definir concretamente el comportamiento de las vigas, a través de la determinación de parámetros específicos, tales como el módulo de elasticidad (MOE), y el módulo de rotura (MOR) entre otros, cuyas aplicaciones en el diseño estructural cumplen un rol importante, (Poblete y Hempel, 1980).

2.1 Vigas

Son elementos estructurales lineales (horizontales o inclinados), que salvan luces y que son solicitados por reacciones tales como: peso propio, sobrecarga de uso y montaje entre otros (CORMA, 2000). Trabajan principalmente en flexión y corte en posición horizontal y pueden estar sometidas además a esfuerzos de tipo axial, tracción o compresión, dependiendo de las cargas que la soliciten y si presenta inclinación. Esto significa que una sección de una viga soporta diferentes esfuerzos, siendo posible optimizar la forma de la sección según estos esfuerzos, concentrando las partes más importantes del material, en los cordones superiores e inferiores de la viga (Poblete y Hempel, 1980)

Existiendo una gran variedad de tipos de formas y secciones las vigas se pueden clasificar en:

- Según sección: vigas llenas, vigas llenas laminadas, vigas de alma llena, vigas de cajón y vigas tensadas.
- Según la forma de apoyo: vigas simplemente apoyadas, vigas empotradas y vigas continuas.
- Según el perfil de su sección: constantes o variables.

Este estudio se acotará, a la primera clasificación y dentro de esta específicamente a las vigas de alma llena, especialmente a las Vigas Doble T con alma de OSB.

2.2 Vigas Doble T

Este sistema de viga, es un complemento del sistema constructivo C.E.A (Construcción, Energética, Asísmica), posibilitando espacios más libres, ya que las vigas son más largas y salvan mayores luces que las vigas de madera sólida y de acero. Son fáciles de manipular y trabajar, por la alta tecnología aplicada en su diseño, de gran estabilidad, rapidez de instalación, versatilidad de uso y economía. Son sólidas, resistentes y más consistentes en su rendimiento que la viga sólida de madera. (Louisiana Pacific, 2005).

Las vigas Doble T están formadas por un cordón superior y otro inferior de madera aserrada, impregnada, con uniones dentadas y por un alma central de tablero que proporciona la altura. (CORMA, 2000).

2.2.1 Descripción del alma

El alma de estas vigas está conformada por tableros unidos entre si por un adhesivo basado en poliuretano, formando un ángulo recto respecto al eje longitudinal de las vigas (Schmalz, 2003). (Figura 1).

2.2.2 Descripción de las alas

Las alas de estas vigas, se componen de una serie de piezas de longitud variable de madera de pino impregnado a vacío – presión, unidas entre si con adhesivo, utilizando el sistema finger joint, donde las uniones del dentado se desarrollan en el mismo sentido del ancho del ala de las vigas (unión dentada tipo sistema americano).

Estas alas, que forman parte del elemento viga, presentan una ranura en el centro no rectangular la cual se prolonga en toda su longitud, la función de que presente una forma cónica es para mejorar la incorporación del alma y aumentar el área de contacto entre el ala y el alma. La profundidad de la ranura normalmente es de 15 mm con un ancho de entrada correspondiente al espesor del alma, (Schmalz, 2003).

2.2.3 Características geométricas de las vigas

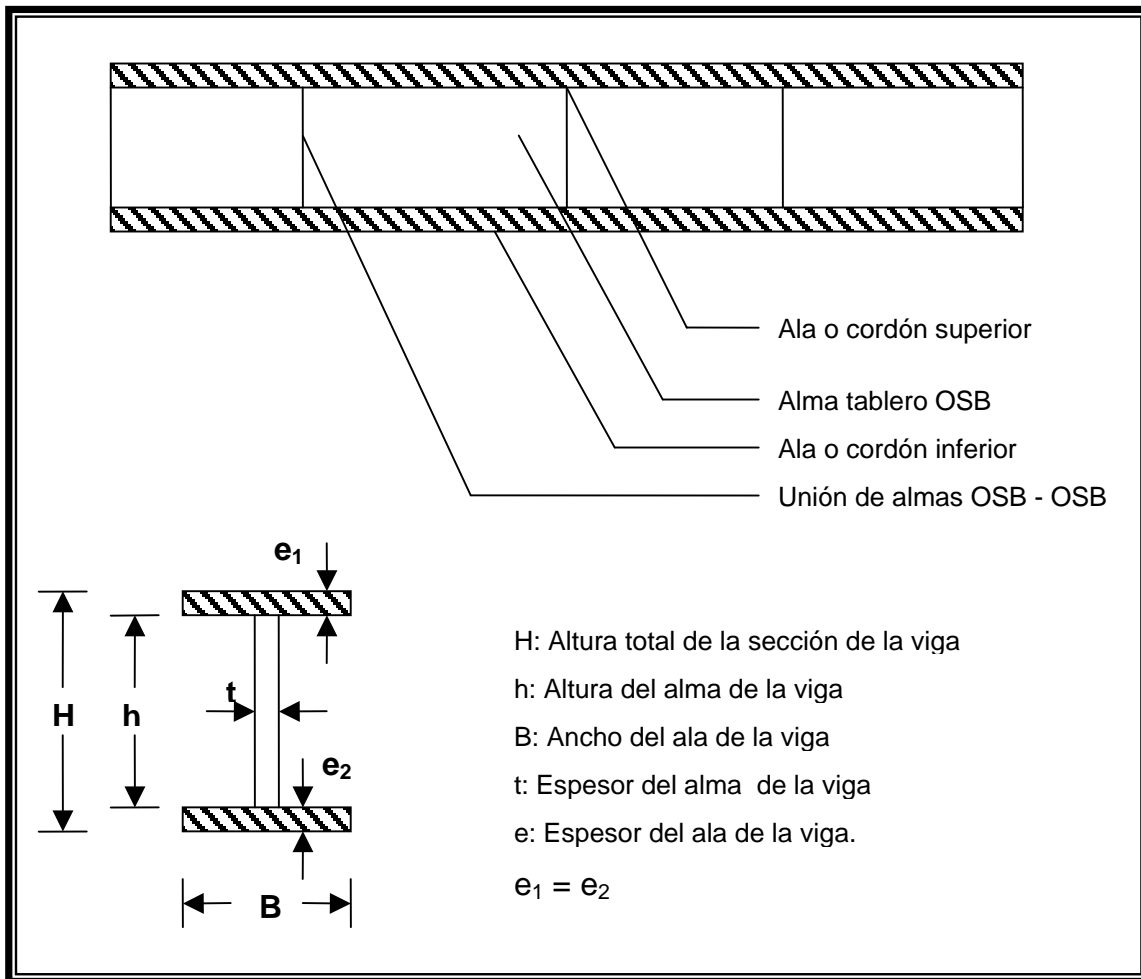


Figura 1. Sección transversal y longitudinal en vigas doble T con alma de OSB.

2.2.4 Uniones dentadas (Finger Joints)

Según la norma ASTM D-5572, Unión Dentada es: “La unión formada al pegar dos miembros precortados en forma de dedos o listones”.

El término Finger-joints no alude a ningún tipo de producto en particular, sino que está referido genéricamente a aquellos productos obtenidos a partir de uniones en forma de dedos que se efectúan en los extremos de cada block para encolarlos, unirlos y prensarlos. Es un sistema de unión muy sencillo y resistente, (Castillo, 2003).

2.3 Propiedades mecánicas

Son aquellas que indican la capacidad de los materiales para resistir fuerzas externas, de acuerdo con estas capacidades serán los usos a que los materiales son destinados y las secciones transversales necesarias para asegurar una adecuada estabilidad estructural en la construcción. Conforme a la amplia gama de solicitaciones a las cuales puede estar expuesto un material durante su uso. Se han definido diversas propiedades mecánicas (CORMA, 2003). En el caso de vigas el comportamiento ante esfuerzo de flexión estática adquiere relevancia.

2.3.1 Flexión estática

El esfuerzo de Flexión estática mide la resistencia que opone una viga a una carga aplicada entre sus apoyos. El diagrama del ensayo se indica en la Fig. 2.

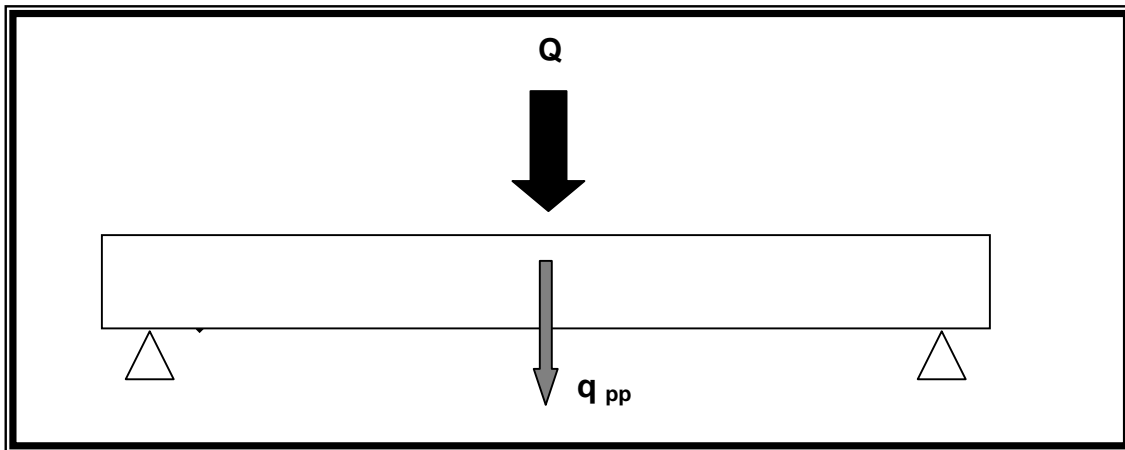


Figura 2. Diagrama ensayo de flexión estática

Los parámetros que se determinan en el ensayo de flexión estática son:

Módulo de Elasticidad en Flexión (MOE): Es la medida de la rigidez del material experimentada por una viga sometida a flexión. Constituye un valor indicativo de la rigidez y es aplicable solo a condiciones de trabajo dentro de la zona elástica de la curva tensión versus deformación. (CORMA, 2003)

Módulo de Rotura (MOR): Corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material, antes que se produzca la falla. Cualquier incremento adicional de carga sobre el material provocará la rotura de la viga. (CORMA, 2003).

Ambos módulos tienen una relación inversamente proporcional al Momento de Inercia (I) que es una propiedad geométrica de una superficie o área que representa la distancia de un área con respecto a un eje dado. Se define como la suma de los productos de todas las áreas elementales multiplicadas por el cuadrado de las distancias a un eje. Tiene unidades de longitud elevada a la cuarta potencia. Es importante para el análisis de vigas y columnas, porque el diseño del tamaño de estos elementos está relacionado con el momento de inercia, ya que este define la forma apropiada que debe tener la sección del elemento estructural. (Beer y Jonson, 1977; Parquer y Ambrose, 1995).

2.4 Factores que afectan las propiedades mecánicas

La madera tiene una compleja estructura natural, la variabilidad entre árboles y entre la misma especie responde a diferencias genéticas, de ambiente o de ambas. En un mismo árbol el crecimiento es irregular. Existen además diferencias en las propiedades mecánicas debido al tratamiento de la madera durante su elaboración (CORMA, 2003).

Los factores que inciden sobre la variabilidad de las propiedades mecánicas son:

2.4.1 Defectos

Recibe este nombre cualquier irregularidad física, química o físico-química de la madera, que afecta su aspecto, resistencia o durabilidad, determinando generalmente, una limitación en su aplicación o uso. Los defectos que mayormente inciden sobre las propiedades mecánicas son: Nudos, grietas, rajaduras, pudrición, médula y alabeos. (CORMA, 2003).

2.4.2 Densidad

La densidad o peso específico de una pieza de madera, es el criterio más satisfactorio para estimar su resistencia. Las diferencias de composición que presentan las especies entre sí y dentro de ellas, es la primera causa de la variación de la densidad. La densidad de la madera varía aun dentro del mismo árbol. Por lo tanto se puede concluir que a medida que aumenta la densidad mejora la resistencia. Desde el punto macroscópico de la madera, a mayor proporción de madera de verano, implica mayor densidad y, más resistencia mecánica. (CORMA, 2003).

2.4.3 Contenido de humedad

Cuando la madera pierde agua bajo el punto de saturación de las fibras (aprox. 30%), las células se compactan, debido a esto estas se ponen más rígidas y fuertes, por lo tanto, una pérdida en el contenido de humedad en las piezas de madera, se ve acompañado de un incremento en la resistencia. Un aumento de la humedad sobre

el punto de saturación de las fibras no tiene efecto sobre la resistencia. (CORMA, 2003).

2.4.4 *Temperatura*

En general las propiedades mecánicas de la madera decrecen cuando ella se calienta y aumenta cuando la madera se enfría. La relación entre la resistencia de la madera y la temperatura de exposición es aproximadamente lineal siempre que su contenido de humedad permanezca constante y la temperatura inferior a 150°C. Los efectos de la temperatura pueden clasificarse como:

Temporales: aquellos que existen solo a una temperatura en particular e independientes del periodo a que se expongan. (CORMA, 2003).

Permanentes: son los efectos que permanecen después que la madera ha sido llevada a una temperatura normal (aprox. 20°C) y depende de la duración de la exposición mas que del valor de temperatura involucrado.

2.4.5 *Albura y duramen*

La albura, aparte de su función de soporte, cumple la función de conducción. Por otra parte el duramen es el encargado de dar el soporte mecánico al árbol. Numerosas experiencias han demostrado que, en general, no existe una diferencia significativa entre las propiedades mecánicas que presentan tanto la albura como el duramen, existe si, algunas excepciones a esta regla, las cuales dependen fundamentalmente de la densidad de ambas zonas y de los defectos que presenten ellas. (CORMA, 2003).

2.4.6 *Tratamiento de la madera*

Los efectos de los tratamientos de la madera, sobre la resistencia de ella, se debe principalmente al método de aplicación del preservante (vacío y presión) y no a las sales de impregnación usadas. El debilitamiento de la resistencia originada se debe a las altas temperaturas empleadas y a presiones inherentes a algunos procesos de tratamientos, a fin de obtener una impregnación satisfactoria. (CORMA, 2003).

2.5 Método de impregnación Vacío - Presión

El método de impregnación usado en la Empresa Constructora Fourcade S.A. es el de Vacío - Presión a célula llena.

Es importante señalar el proceso de impregnación, debido a que por normativa chilena de construcción, el *Pino Radiata* debe ser impregnado.

La impregnación con presión es el método más efectivo para preservar la madera que será usada en lugares donde se encuentre en contacto directo con la humedad. Con este método se logran penetraciones profundas y uniformes del preservante, proporcionando así una protección más efectiva.

El método consiste en introducir la madera a impregnar en autoclaves o cilindros abiertos en uno o ambos extremos, los que se cierran herméticamente, así se somete la madera a la acción de la sustancia preservadora, en ciclos alternados de vacío y presión en distintas modalidades que dan origen a diversos procesos.

Con este tipo de proceso se trata de retener en la madera la mayor cantidad posible de preservante que se ha introducido en el período de presión, dejando así la máxima concentración de preservante en la zona tratada. Los preservantes utilizados son del tipo hidrosolubles y retardantes del fuego (CORMA, 2003).

2.6 Tablero OSB

Los tableros OSB (Oriented Strand Board), son tableros estructurales formados por hojuelas rectangulares de madera, dispuestas en capas perpendicularmente unas con otras. Cabe destacar que si el tablero no posee laminación cruzada por diseño, este presentara debilidades estructurales aleatorias imposibles de predecir, lo cual implica un alto riesgo para la constructora.

Las hojuelas son mezcladas con adhesivos y ceras para ser sometidas posteriormente a altas temperaturas y presiones que le otorgan al tablero características de resistencia y rigidez que resulta de la laminación cruzada de las capas (Louisiana Pacific, 2005).

2.7 Adhesivos en base a Poliuretano

Son sistemas de adhesivos monocomponentes (se evita el mezclado) los cuales contienen 100% de sólidos (sin solventes). Es por ello que se aplica menor cantidad que otros adhesivos estructurales.

El componente más importante y cuantificable es el prepolímero, el cual consiste en moléculas lineales con grupos de isocianato en ambos extremos. El isocianato, químicamente muy reactivo en contacto con el agua, libera Dióxido de Carbono y se transforma en una amina que reacciona inmediatamente con un grupo adicional de isocianato. De esta manera, las cadenas individuales se combinan formando una larga cadena, en este punto se produce el fraguado (Purbond, 2005).

Estos adhesivos son ideales para la aplicación en maderas, debido a que ésta contiene la suficiente humedad para comenzar la reacción, por otra parte, es porosa lo que permite la liberación del dióxido de carbono y la expansión típica de este tipo

de adhesivo. Además, la madera contiene otras moléculas que reaccionan con el isocianato y forman una fuerte unión con el adhesivo.

Este tipo de adhesivo ofrece un amplio rango de diferentes tipos según los tiempos abiertos y de prensado. Los de mayor velocidad permiten aumentar la productividad y en todos los casos se trabaja en prensas frías, lo que es traducido en alta productividad y eficiencia en los costos.

No hay emisión de Formaldehído y solventes durante el proceso de encolado y tampoco en el producto de madera final.

Son aplicables en uniones dentadas y en vigas doble T para el uso estructural en la construcción de alta carga (Purbond, 2005).

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

Para formar las alas se utilizó madera de *Pinus radiata* libre de deterioros y defectos de maquinado, impregnada a vacío – presión con sales CCA con un contenido de humedad entre 12 y 16 un %.

3.1.2 Tablero OSB

Para el alma de las vigas se utilizó tablero estructural OSB estándar de 9.5 mm de espesor con una densidad de 450 kg/m³

3.1.3 Adhesivo

El adhesivo utilizado está compuesto por poliuretano en base a MDI (dimetilisocianato), proporcionado por National Starch adhesivos.

Este adhesivo posee una viscosidad Brookfield de 5000 – 8000 mPa.s a una temperatura de 20 °C y un tiempo abierto de 8 minutos, con una vida útil a temperatura ambiente de 6 meses sin abrir el envase.



Figura 4. Alas de Pino radiata.

3.1.4 Equipo de aplicación de cargas

Para la aplicación de cargas a las vigas se ocupó la máquina denominada Marco de carga del Laboratorio de Ensayos de Materiales y Control de Obras (LEMCO) de la Facultad de Ingeniería, UACH, la cual posee:

- Celda de carga, con capacidad máxima de 50 toneladas. (Fig. 5 a.)
- Compresor con palanca de doble efecto. (Fig. 5 b.)
- Regulador de la velocidad de carga, que controla el paso del flujo del aceite hidráulico en el interior del compresor.
- Medidor electrónico de carga que funciona a través de un sensor de carga conectado al pistón, el cual entrega la medida de las cargas en Kgf. (Fig. 5 c.)
- Viga metálica de carga, con peso propio de 36 Kg. (Fig. 5 d.)
- Rodillo de transmisión de carga a la viga, situados en puntos definidos como el tercio central de las vigas, con peso total de ambas de 1.2 Kg. (Fig. 5 e.)
- Apoyo metálico para las vigas. (Fig. 5 f.)
- Huincha metálica, para medir las deformaciones verticales.
- Cargas máximas de 12 Toneladas y
- Luz máxima: 6 metros.



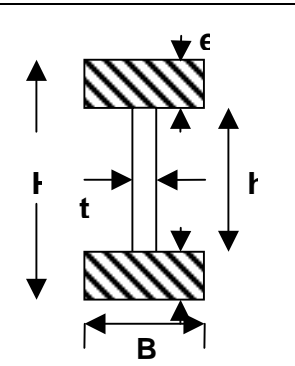
Figura 5. Marco de carga. a.- Pistón hidráulico, b.- Compresor, c.- Medidor electrónico de carga, d.- Pieza metálica de carga, e.- Rodillo de transmisión de carga, f.- Apoyo metálico para las vigas

3.2 Método

3.2.1 Construcción de las vigas

Se contempló, para este estudio, cuatro secciones de vigas cuyas características se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Identificación y características de las vigas.

	Identificación	B (mm)	H (mm)	e (mm)	t (mm)	Largo (mm)	Momento Inercia (cm ⁴)
V2T-150	70	150	45	9.5	4000	1860	
V2T-200	70	200	45	9.5	4000	3996	
V2T-250	70	250	45	9.5	4000	7050	
V2T-300	70	300	45	9.5	4000	11081	

El largo de las alas se obtuvo empalmado piezas de pino impregnado seco por cabeza mediante uniones dentadas con adhesivo Purbond HB 222.

Posterior al fragüe del adhesivo se realizó una ranura central en una cara, mediante fresado, destinada a recibir el alma de OSB y logrando así mayor área de contacto entre el tablero y las alas, (Figura 4).

La longitud del alma se obtuvo cortando el tablero OSB por su largo (2.44 m) y dimensionando el ancho acorde con la altura requerida, de esta manera el ancho del tablero (1.22 m), permitió obtener cortes necesarios para obtener el largo de la viga.

La altura del alma correspondió al tipo de viga en fabricación por ende la altura varió entre 60 y 210 mm.

El alma así preparada, se rebajó en sus cantos a fin de ayudar al encaje y a la adhesión de esta en las alas. El adhesivo utilizado en esta unión fue Purbond HB 222 con una dosificación de 200 g/m², los elementos se mantuvieron en prensa por un período de 30 a 60 segundos, a una presión de 0.8 N/mm² (116 psi) en un ambiente con 18 °C y 20 % humedad relativa del ambiente, dejando reposar por 8 horas.

3.2.2 Tamaño de la muestra

Se fabricaran 4 grupos de 7 unidades cada una, de vigas según la altura total "H". La decisión a utilizar dicho número por altura, se debió, a que se utilizó un tamaño de muestra constante para cada altura. Este tamaño de muestra obtenido se debe a experiencias anteriores en estudios sobre comportamientos mecánicos en vigas laminadas y otros tipos de sección estudiadas donde el número de vigas utilizadas correspondió a 7 unidades.

3.3 Preparación de las vigas

3.3.1 Luz de ensayo

Debido a que las longitudes de las vigas corresponden a 4 m, se eligió una luz de ensayo 360 cm, parámetro que se mantuvo constante para todas las vigas.

3.3.2 Ubicación de puntos de carga

Para efectos del ensayo, la carga central "Q", se distribuyó en dos cargas puntuales "Q/2" aplicadas en los tercios centrales de la luz. (Figura 6).

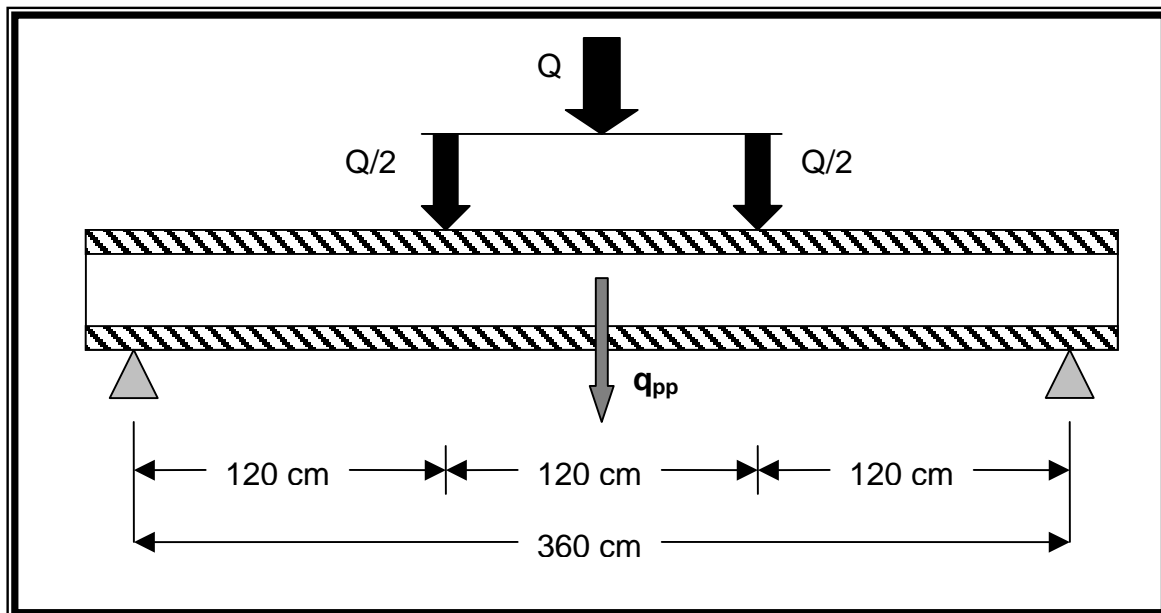


Figura 6. Luz de ensayo para carga aplicada a L/3.

3.3.3 Determinación del peso de la viga

Para determinar el peso propio las vigas estas se pesaron en una balanza, Con este valor se calculó su peso por unidad de longitud, antecedente necesario para ser considerado como carga por peso propio (q_{pp}), supuesta al centro de la luz de ensayo.

3.4 Descripción general del ensayo

La experiencia consistió básicamente, en someter las vigas Doble T a esfuerzo de “flexión simple”, en las condiciones descritas en la Figura 6. Se registró cada 10 segundos los parámetros carga y deformación asociada llevando finalmente el ensayo a la rotura para visualizar los elementos de la viga que fallaron.

3.5 Ejecución del ensayo

1. Se montaron la vigas sobre los apoyos y se ubicó al centro de la luz el punto de referencia destinado a realizar las lecturas de deformación (L_e).
2. Se ubicó el sistema de aplicación de carga a los tercios para ejecutar la presión correspondiente a incrementos por unidad de tiempo, tal como se muestra en la Figura 6.
3. Se colocó la huincha metálica para lectura de la deformación, tal como se explica en el punto 1.
4. Se encendió el medidor de carga electrónico, utilizando como unidad de carga el kilogramo fuerza (kgf).
5. Se accionó el encendido del compresor y se reguló la velocidad de carga a un valor de 6, que equivale a un valor de aproximadamente a 58.8 kg/seg.
6. Se comenzó a realizar la aplicación de cargas y se registraron las mediciones de deformación. El método implementado fue tomar un valor de deformación cada 10 seg. y registrarlo en la planilla.
7. El ensayo finalizó con la última lectura de carga, cuyo valor corresponde al experimentado por la viga, cuando esta presentó una falla y los valores de carga comenzaron a disminuir.
8. Al momento de producirse la rotura, se observó el o los elementos de la viga que presentaron falla, para posterior analizar los motivos que pudieron ocasionar la rotura.

3.6 Cálculos

Con los resultados de cargas (kg) y deformación (cm), se determinó el Módulo de Elasticidad (MOE) y el Módulo de Rotura (MOR).

Las relaciones matemáticas utilizadas fueron:

$$\text{Módulo de elasticidad: } MOE = \frac{23\Delta Q \times Le^3}{1296 \times \Phi \times I} \quad [kg/cm^2] \quad \text{(a)}$$

Q : Delta Carga aplicada en el rango elástico (kg)
L_e : Luz de ensayo de la viga (cm)
f : Delta Deformación en el rango elástico (cm)

$$\text{Momento de Inercia: } I = \frac{B \cdot H^3 - (B-t) \cdot h^3}{12} \quad [cm^4] \quad \text{(b)}$$

B : Ancho del ala (cm)
H : Altura total de la viga (cm)
t : Espesor del alma (cm)
h : Altura interna del alma (cm)

$$\text{Módulo de rotura: } MOR = \frac{M_{\max}}{W} \quad [kg/cm^2] \quad \text{(c)}$$

M_{max} : Momento máximo (kg*cm)
W : Módulo resistente de la viga (cm³)
Y_{max} : Distancia entre centro de la viga hasta la ultima fibra inferior del ala (cm)

$$M_{\max} = \frac{Q \cdot Le}{6} + \frac{q_{pp} \cdot Le}{4} \quad [kg*cm] \quad \text{(d)}$$

q_{pp}: Peso propio de la viga expresado en kg.

$$W = \frac{I}{Y_{\max}} \quad [cm^3] \quad \text{(e)}$$

$$Y_{\max} = \frac{H}{2} \quad [cm] \quad \text{(f)}$$

3.7 Tratamiento de resultados

Con los valores obtenidos del ensayo de flexión efectuado a las vigas 2T, se confecciono una tabla de datos con los valores de carga y deformación, los cuales se encuentran detallados en el anexo 2, incluidos los gráficos de carga v/s deformación para cada una de las alturas de vigas ensayadas.

Por otra parte se determinó, para cada una de las vigas, el Módulo de Elasticidad (MOE) y el Módulo de Rotura (MOR) para las cuatro alturas de vigas y los promedios de éstas, destacando el rango elástico de las vigas y el peso de cada una de ellas. Se puede ver en el anexo 3. También se calcularon los estadígrafos básicos para cada altura de las vigas. Posteriormente se observaron y clasificaron las fallas, en seis Tipos A, B, C, D, E y F, las que se detallan en el cuadro 4.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Flexión Estática

Los resultados del Módulo de Elasticidad (MOE) y Módulo de Rotura (MOR), para los distintos tipos de alturas, se detallan a continuación.

4.1.1 Módulo de Elasticidad (MOE)

Los valores de Módulo de elasticidad para cada altura de viga (150, 200, 250 y 300 mm) y los estadígrafos básicos se entregan en el cuadro 2. Para mayor información, los valores de carga y deformación, que fueron obtenidos utilizando el gráfico de cada viga, se encuentran en el anexo 2. En cada uno de los gráficos construidos se trazó una línea recta uniendo al menos dos puntos (curva carga v/s deformación) dentro del campo elástico. De esta manera se determinaron los diferenciales de carga y deformación, para ser usados en el cálculo del Módulo de Elasticidad (MOE).

Cuadro 2. Módulo de Elasticidad (kg/cm^2)

	ALTURA VIGAS (mm)			
	150	200	250	300
Media	69813.84	57087.67	56306.54	52635.09
Desviación estándar	8242.34	4077.65	8553.15	1769.68
Valor máximo	80398,90	64771,35	66571,06	56053,52
Valor mínimo	57087,98	51817,08	43075,40	51209,39
Tamaño de La muestra	6	7	7	7

Un análisis del cuadro 2 indica que al aumentar en 50 mm la altura del alma de la viga el MOE decae. Sin embargo, la desviación estándar obtenida para las distintas alturas, señala que los resultados están muy dispersos, mostrando una homogeneidad en los valores de MOE en las vigas de altura 200 y 300 mm.

Estas diferencias se pueden deber al margen de error que se presenta al efectuar las mediciones de carga y deformación para el caso de la realización de este ensayo, ya que para obtener el módulo de elasticidad, como se observa en la ecuación (a), las variables geométricas están definidas.

Se puede rescatar que existe un brusco descenso de la rigidez desde la altura 150 a la de 200 mm en un 18%.

Para el caso de las alturas 200 y 250 mm, existe una similitud en su rigidez, demostrando así que el incremento en la altura no es significativo para esas alturas, encontrándose valores promedios de 57088 y 56307 kg/cm² respectivamente.

Para las alturas de los extremos, existe una disminución notable en el módulo elástico de un 26%, al aumentar la altura del alma de 150 a 300 mm.

Por otra parte a medida que aumenta la altura de la viga en 50 mm, el momento de Inercia (I) también lo hace, producto de esto el Módulo de Elasticidad disminuye. (Ver ecuación (a)).

4.1.2 Módulo de Rotura (MOR)

Los resultados de MOR obtenidos para las cuatro alturas de vigas en estudio, se resumen en el Cuadro 3.

Para determinar el Módulo de Rotura de cada viga fue necesario conocer el peso propio (q_{pp}) de cada una de ellas (anexo 3), y concentrarla al centro de la luz de ensayo. (Ver Figura 2).

Cuadro 3. Módulo de Rotura (kg/cm²)

	ALTURA VIGAS (mm)			
	150	200	250	300
Media	139,43	149,18	123,47	89,28
Desviación estándar	34,93	29,55	21,89	13,89
Valor máximo	175,85	184,91	162,12	106,53
Valor mínimo	86,76	115,05	89,08	67,26
Tamaño de La muestra	6	7	7	7

Los valores promedios de Módulos de Rotura (MOR) se resumen en el cuadro 3. Se puede observar que a partir de la altura de 200 mm se presenta una tendencia a disminuir los niveles de MOR para un incremento de 50 mm en la altura de la viga.

Al modificar la altura desde 150 a 200 mm, es posible aumentar la capacidad de carga de la viga y el nivel de MOR. A partir de esta altura, la capacidad de carga continúa aumentando mientras que el MOR disminuye.

4.1.3 Cargas máximas

Los valores de cargas máximas promedio, experimentadas por las distintas alturas de las vigas se muestran en la Figura 9.

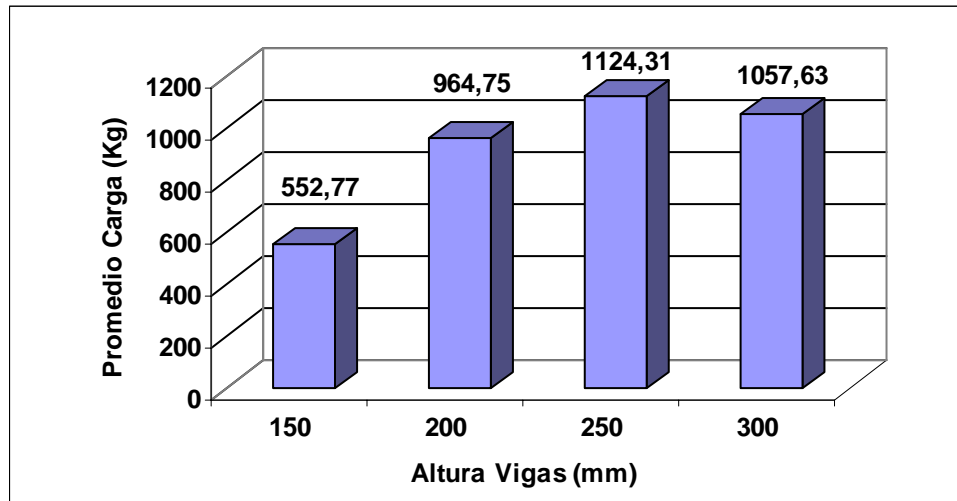


Figura 9. Promedio cargas máximas experimentada por el incremento de altura.



En la figura 9, se puede observar una clara tendencia, a medida que aumenta la altura se incrementa la carga máxima, pero este incremento solo ocurre hasta una altura de 250 mm, ya que desde esa altura comienza una disminución en la carga máxima.



Se produce un incremento de un 42.7% en la carga máxima al aumentar la altura de la viga de 150 a 200 mm. De distinta manera se comporta al llegar a una altura de viga de 300 mm en donde la carga máxima promedio sufre una disminución de un 6% respecto a la altura de 250 mm.



4.2 Determinación de fallas

El tipo de fracturas que presentan las vigas de distintas alturas al momento de fallar se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Tipo y descripción de fallas

Tipos de Fallas	Descripción	Ejemplo
Tipo A	<p>Falla por presencia de defecto natural o de proceso de la madera.</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none">• V2T-200-01• V2T-200-05• V2T-250-03	
Tipo B	<p>Unión dentada ala inferior no resiste esfuerzos de tracción.</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none">• V2T-150-04• V2T-200-06• V2T-300-01	

Tipos de Fallas	Descripción	Ejemplo
Tipo C	<p>Fractura total de la viga (madera y OSB)</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • V2T-150-03 • V2T-200-04 • V2T-300-06 	
Tipo D	<p>Rotura de alma OSB por corte, en el tercio central de la viga.</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • V2T-150-01 • V2T-150-06 • V2T-200-07 • V2T-250-01 	

Tipos de Fallas	Descripción	Ejemplo
<p>Tipo E</p>	<p>Desprendimiento del alma.</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • V2T-150-01 • V2T-150-05 • V2T-250-02 • V2T-250-07 	
<p>Tipo F</p>	<p>Pandeo</p> <p>Este tipo de falla se presentó en las vigas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • V2T-200-02 • V2T-200-03 • V2T-250-04 • V2T-250-05 • V2T-250-06 • V2T-300-02 • V2T-300-03 • V2T-300-04 • V2T-300-05 • V2T-300-07 	

Las fallas presentadas por las vigas, se designaron según el momento en que se originaron, clasificándose en Fallas críticas y Fallas complementarias.

4.2.1 Fallas Críticas

Fallas críticas: Este tipo de fallas son las que originan la rotura de la viga y la carga en el medidor electrónico comienza a disminuir. (Ver figura 10)

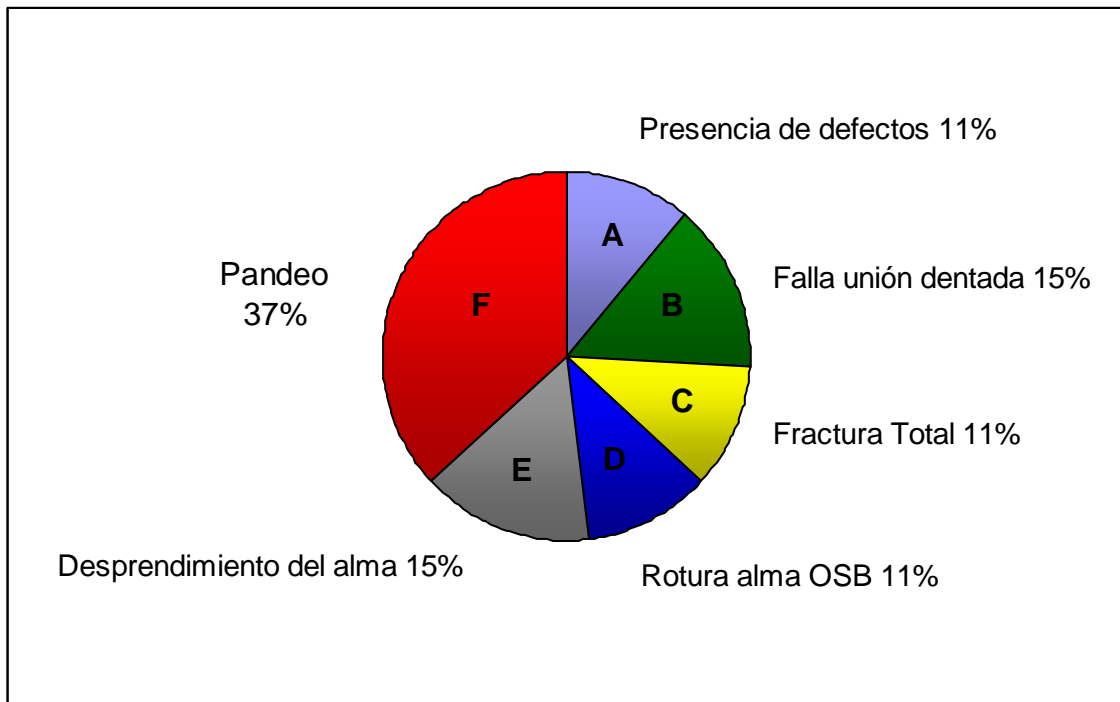


Figura 10. Fallas críticas experimentadas por las vigas.

En la Figura 10, se presenta un resumen de las fallas críticas experimentadas por todas las vigas al momento de ser ensayadas, destacándose como la falla más recurrente la falla Tipo F, la siguen las Tipo B y E y para concluir las tipo A, C y D.

En la Figura 11 se presentan las fallas críticas experimentadas por las vigas en sus distintas alturas:

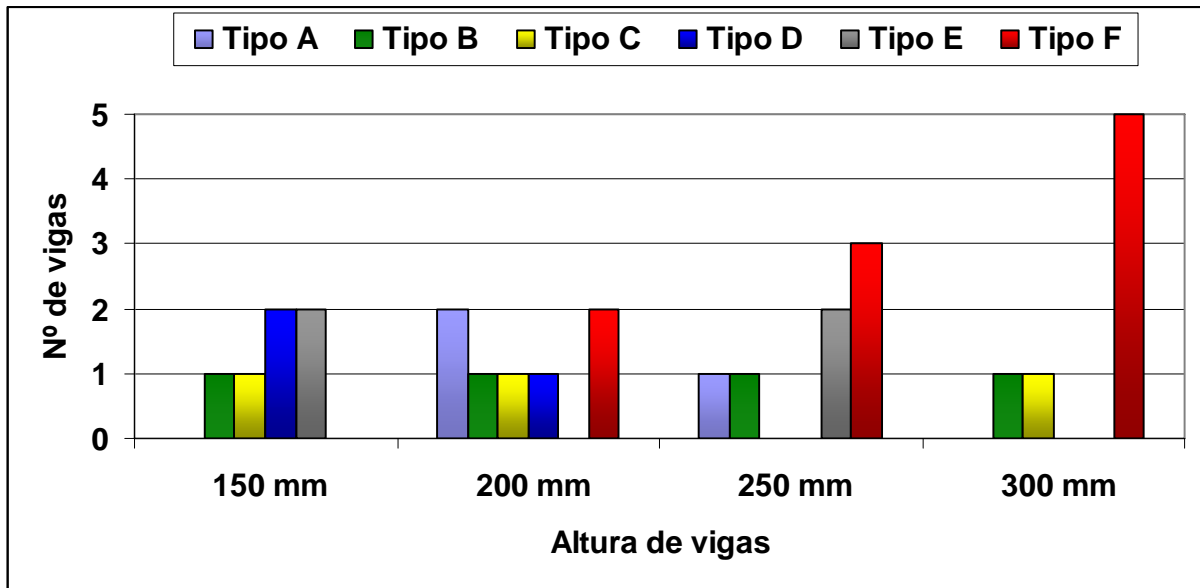


Figura 11. Fallas críticas experimentadas por las distintas alturas de las vigas.

En la Figura 11, se puede observar que existe una clara relación entre el incremento de altura y la falla por pandeo (tipo F).

Por otra parte, una mayor altura del alma de la viga disminuye las fallas críticas por rotura del alma OSB (tipo D).

La falla del tipo B, donde la unión dentada no es capaz de resistir los esfuerzos de tracción, corresponde a una falla esperada, debido a que los momentos flectores en el tercio central de la aplicación de la carga son mayores y por otra parte, el adhesivo juega un rol importante en lo que a resistencia a la tracción se refiere.

En vigas de 150 mm, no se presentaron fallas críticas por presencia de defectos ni por Pandeo.

Para vigas con una altura de 200 mm se produce la aparición de fallas por defecto de madera (tipo A) y por pandeo (tipo F), a diferencia de la altura anterior no presentándose vigas que fallen por desprendimiento del alma (tipo E).

En vigas de 250 mm de altura no se presentaron fallas críticas por fractura total o Rotura del alma OSB (tipos C y D).

Las vigas de mayor altura (300 mm) fallaron fundamentalmente por pandeo (tipo F), En una situación se presentó falla por rotura de la unión dentada y en otra hubo

fractura total. No se presentaron fallas críticas por presencia de defectos, rotura del alma ni por desprendimiento del alma (tipos A, D y E).

Las posibles soluciones para poder mejorar las fallas que se presentaron al someter estas vigas a esfuerzos de flexión estática con la carga distribuida a los tercios de la luz de ensayo serían:

Para los casos en cuales falla la madera (tipo A), es muy complicado hacer un control de calidad a cada block o a cada ala producida, para observar la presencia de defectos en ellas, debido a que su producción es en línea. En obra se debería evitar poner las alas que presenten algún defecto de madera hacia abajo (ala traccionada), ya que un nudo o una grieta son limitantes al momento de someterlos a soportar cargas extremas, (Ver Figura 12).

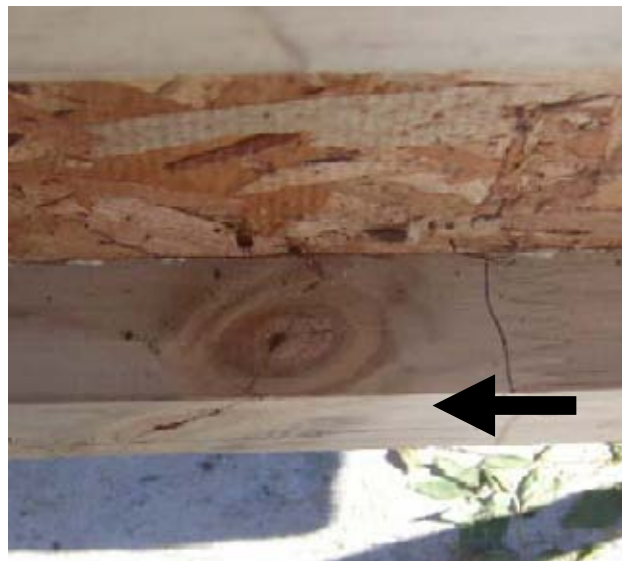


Figura 12. Presencia de nudos en ala sometida a tracción cercana a unión dentada (Tipo A).

Fallas de las uniones dentadas (tipo B), eran esperadas, ya que el adhesivo Purbond en las uniones dentadas es el encargado de poner la resistencia a la rotura de estas. Por otra parte estas se produjeron en el tercio central de la viga y en la mayoría de las veces se produjo la rotura de la unión debido a que uno de los rodillos de transmisión de carga quedaba perpendicular a la unión dentada del ala inferior.

Para poder mejorar la resistencia de las uniones dentadas, se debe mejorar la aplicación del adhesivo, ya que esta se realizó de forma manual (espátula) y la dosificación de adhesivo que estima el fabricante no se respetó. (Figura 13 (a y b)).

Otro punto a mejorar, serían los tiempos de prensado de las uniones dentadas y de la viga completa (Ver Figura 13 (c)), ya que estos son cortos y el fabricante del

adhesivo estipula una presión de 116 Psi, con un tiempo de prensado cercano a los 5 minutos.



Figura 13. a.- Aplicación del adhesivo con espátula, b.- Dosificación manual del adhesivo en las alas, c.- Prensado de viga.

Para el caso de la falla producida por la fractura total de la viga (tipo C), esta se produjo debido a que tanto el OSB como la madera no son capaces de resistir la carga. La fractura se origina en el OSB por corte, para luego seguir la rotura en las alas de madera llegando a un punto en que estas no son capaces de soportar la tensión producida en el tercio central de la viga, esta falla se produce generalmente cuando las uniones dentadas quedan sobrepuestas entre las almas, (Ver Figura 14).

Una manera de solucionar esto, es aumentar el espesor del alma (OSB) o por otra parte aumentar la sección del ala, pero esto implica un aumento en los costos. También sería bueno mejorar la aplicación del adhesivo y respetar los tiempos de prensado exigidos por el fabricante del adhesivo.



Figura 14. Fractura total OSB en dirección perpendicular a las alas.

Para el caso de las fallas del alma de OSB por corte (tipo D), la opción para solucionar este problema sería la de incrementar el espesor del OSB, pero esto se reflejaría en un incremento del valor de la viga y del peso, y este tipo de viga se caracteriza por su bajo peso, fácil maniobrabilidad y traslado, (Ver Figura 15).



Figura 15.Falla Alma OSB por corte.

Para el caso de las vigas que presentaron desprendimiento del alma (tipo E), estas se producen en las zonas cercanas a la unión de almas, debido a que al momento de aplicar carga, la viga comienza a sufrir deformación, pero la resistencia que opone el adhesivo en la ranura para una parte del alma es menor, por ende la deformación continua y esta se desprende (Ver Figura 16). Solo 4 vigas sufrieron este tipo de falla crítica que corresponde a un 15% del total de vigas sometidas a flexión. Una forma de poder evitar este tipo de fallas es que la unión de almas no quede bajo el tercio central de aplicación de cargas.



Figura 16. Separación de alma del ala, cercana a la unión de almas.

Para el caso de las vigas que fallaron por pandeo (tipo F), que representaron un 37% del total de vigas sometidas a flexión, esta es generada por la inestabilidad geométrica de la viga, debido a la altura del alma, la cual provoca el pandeo del cordón comprimido (superior) y produce la torsión de la viga (Ver Figura 17).

Una posible explicación es por mal asentamiento de los rodillos distribuidores de la carga o a una excesiva altura de la viga la cual genera inestabilidad a la hora de soportar cargas.

En relación a los resultados obtenidos de cargas máximas (Ver Figura 9), estos se encontraron para el caso de la altura de 200 mm, sobre el promedio, para una altura de 250 mm los resultados están muy cercanos al promedio y por ultimo para una altura de 300 mm los resultados de cargas máximas obtenidas están muy cercana y en algunos casos sobre el promedio, de esto podemos desprender que el pandeo no afectó de una manera significativa la capacidad de resistir carga de las vigas 2T.



Figura 17. Falla Tipo F Pandeo, con sistema de aplicación de carga.

4.2.2 Fallas Complementarias

Fallas complementarias: Este tipo de fallas se originan una vez que ya se ha producido la falla crítica. Son fallas que se producen sobre la carga de rotura producto de aumentos de tensiones en otros elementos constituyentes de la viga.

Para el caso de las fallas complementarias experimentadas por las vigas estas se presentan en el cuadro 5, detallándolas cada una por la altura y el número de viga correspondiente.

Cuadro 5. Fallas complementarias experimentadas por las vigas

Tipos de Fallas	V2T-150-4000							V2T-200-4000							V2T-250-4000							V2T-300-4000						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Tipo A																												
Tipo B			√								√	√																√
Tipo C																												
Tipo D											√	√			√													√
Tipo E			√	√							√	√					√	√				√						
Tipo F																												

Se puede apreciar claramente las fallas complementarias que presentaron las vigas al momento de sufrir la falla crítica o al momento de terminar la aplicación de la carga.

Se puede ver que algunas vigas no presentaron fallas complementarias.

Las fallas complementarias que mas se presentaron al momento de solicitar los elementos a cargas fueron: rotura de la unión dentada (tipo B), desprendimiento del alma (tipo E) y rotura del tablero OSB (tipo D).

5. CONCLUSIONES

El Módulo de Elasticidad obtenido para cada una de las vigas nos indica que a medida que se aumenta la altura del alma en 50 mm este disminuye, encontrándose un descenso brusco de un 18% entre las alturas de 150 y 200 mm.

Por otra parte, el incremento del alma desde una altura de 150 a 300 mm, se refleja en una disminución en el Módulo de Elástico en un 26%.

Este descenso en la rigidez responde claramente al incremento del alma, producto de esto una altura de hasta 250 mm se ve como una altura máxima óptima de trabajo, ya que posterior a esta se presenta un nuevo descenso brusco en el MOE.

Por otra parte las mayores deformaciones se observaron en las vigas de altura 150 y 200 mm, mientras que las de 300 mm entregaron un valor promedio.

Los resultados obtenidos de Módulo de Rotura, presentan un aumento de un 6.5% al aumentar la altura de 150 a 200 mm, posibilitando de esta manera aumentar la capacidad de carga.

A partir, de una altura de 200 mm, el MOR comienza a disminuir al aumentar la altura del alma de la viga en 50 mm.

Para el caso de las cargas máximas experimentadas por las vigas, se concluye que a medida que se incrementa la altura del alma, hasta 250 mm, aumenta la capacidad de carga de las vigas, sobrepasando esta altura la capacidad de carga comienza a disminuir.

Se produce un incremento de un 51% en las cargas máximas, al aumentar la altura de 150 a 250 mm, de distinta manera, cambios de altura de 250 a 300 mm presentan una disminución de un 6%.

Por este motivo, si se quiere obtener mayores niveles de carga máxima, se debe incrementar el espesor del alma (OSB) o aumenta la sección de las alas, pero sin embargo hay que considerar otros factores de, tales como el costo de aumentar el espesor del tablero OSB, el aumento del peso del elemento producto del incremento de las secciones, las consideraciones de rigidez y la estabilidad de las aplicaciones.

En cuanto a los tipos de fallas estas fueron clasificadas en dos tipos Fallas críticas y complementarias.

Para el conjunto de vigas ensayadas el 37% de ellas presento falla crítica por Pandeo (tipo F), mientras que un 15% falló por rotura de la unión dentada (tipo B), la cual correspondió a una falla esperada, ya que si dentro del tercio central de la viga se encontraban uniones dentadas esta fallarían debido a que en esa zona se presenta el momento flector mayor.

Para el resto de las fallas observadas, la falla Tipo A presento un 11% al igual que la Tipo C Y Tipo D. Por otra parte, la falla por desprendimiento del alma (Tipo E) presento un 15%.

Para el caso de las fallas presentadas por las vigas en sus distintas alturas, se concluye que existe una relación directa entre el incremento de la altura y la falla del tipo F (Pandeo), esta se debe por la inestabilidad geométrica que presenta la viga provocada por el incremento en la altura del alma.

De esta manera para una altura de 300 mm, 5 de 7 vigas presentaron falla tipo F.

De distinto modo, se comporto la falla tipo D (rotura del OSB), ya que esta disminuyó a medida que se aumentó el alma.

Unas posibles soluciones a los tipos de fallas presentadas, seria para evitar la Falla crítica tipo A, de que en obra se evitara poner el ala con defecto en situación de tracción.

Para el caso falla críticas del Tipo B y C, el adhesivo PURBOND es el encargado de poner resistencia, por lo tanto respetar la dosificación y tiempos de prensado.

Para las fallas críticas tipo C y D, la solución sería incrementar el espesor del alma (OSB), con una repercusión en los costos, maniobrabilidad, aumento del peso y traslado.

Para evitar la falla crítica del tipo E (desprendimiento del alma), evitar que la unión de las almas quede ubicado en el tercio central de la aplicación de cargas.

Para el caso de la falla crítica tipo F, una solución es no trabajar con una altura de 300 mm, debido a que es una excesiva altura de alma y por otra parte, que una altura de 250, podría tranquilamente cumplir con la sollicitación de cargas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Beer, F. y Johnston, E. R. 1977. Mecánica Vectorial para Ingenieros (Estática tomo I). Bogota, Colombia: McGraw Hill Latinoamericana S.A.
- Castillo M. 2003. Estudio del efecto de la inclinación de la fibra en la resistencia a la tracción de uniones dentadas de pino radiata. Ingeniero en Maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 41 p.
- CORMA. 2003. Centro transferencia tecnológica Pino Radiata.
www.corma.cl [Abril, 18, 2005]
- CORMA. 2000. Entramado Horizontal. Capítulo 9. En: Construcción de viviendas en madera, www.corma.cl/libro [Abril, 04, 2005]
- Lousiana Pacific. 2005. Características técnicas OSB.
www.lpchile.cl [Mayo, 18, 2005]
- Parker, H. y Ambrose, J. 1995. Ingeniería simplificada para Arquitectos y Constructores. México D.F, México: Editorial LIMUSA, S.A de C.V.
- Poblete, C.; R. Hempel. 1980. Vigas. Edificación en maderas (Concepción). 1(8): 1-32
- Purbond HB 222. 2005. Tecnología PUR para fabricación productos de madera.
www.purbond.com [Mayo, 18, 2005].
- Schmalz G. 2003. Ensayo a flexión de vigas mixtas de madera. Constructor civil. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ingeniería. 196 p.

ANEXOS

Anexo 1
Abstract

Abstract

This study is made because of the interest of Constructora Fourcade S.A. to change the adhesive currently used in the production of I-joist to PURBOND 222, due to a faster hardening of the last one. For this reason, the company was interested in understanding how the finger joints perform, in particular, and how the complete I-Joist does, in general, with this new structural adhesive and a web made of OSB under static bending forces. Being these situation of stress in which they serve.

The method used is based on analysing four types of I-Joist which are differentiated on their height. In this kind of beam, the joint to form the flanges using finger joints and the union of the web with flanges were bonded with the before mentioned adhesive, producing a light structure, easily managed and perfectly usable in definitive structures.

Essays were made on the Laboratorio de Ensayo de Materiales y Control de Obras (LEMCO) OF THE Universidad Austral de Chile. The objective was to evaluate the I-Joist mechanical properties under static bending with charge distributed to the thirds of testing span.

Through the bending essays, values of charge and deformation were obtained, taking lectures every 10 seconds. With the information obtained, MOE and MOR were determined.

After every one of the tests, the type of fracture that determined the I-Joist critical and complementary faults were observed and a figure was made identifying six types of faults.

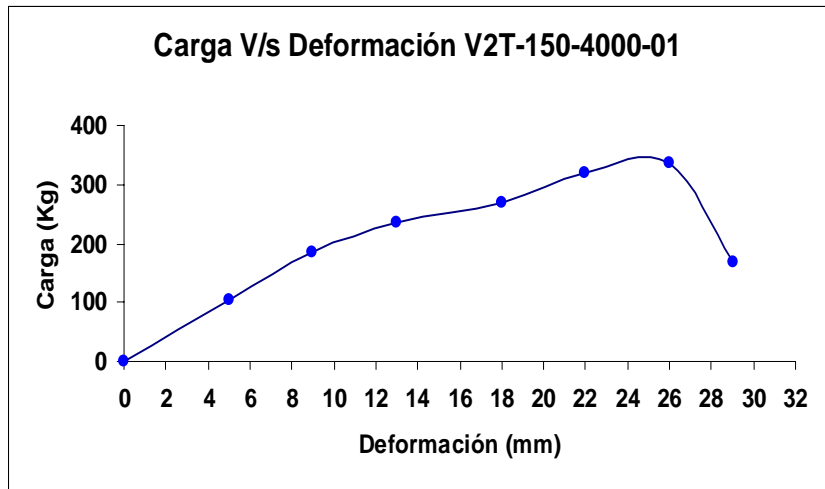
Finally, as a result we found that in augmenting the web height, the MOE decreases, with better results at the height of 250 mm. The greatest deformations were presented at heights of 150 and 200 mm while the smallest were at 300 mm. With regard to maximum charges, as height increases up to 250 mm, maximum charges increases. In results obtained for MOR, there is an increase of 6.5% when we increase height from 150 to 200 mm, allowing the increase of the charge capacity. From a height of 200 mm, MOR starts to decrease while augmenting the web's height in 50 mm.

Keywords: *I-Joist, OSB, adhesive, static bending, mechanical properties.*

Anexo 2
Cuadros y gráfico de carga v/s deformación

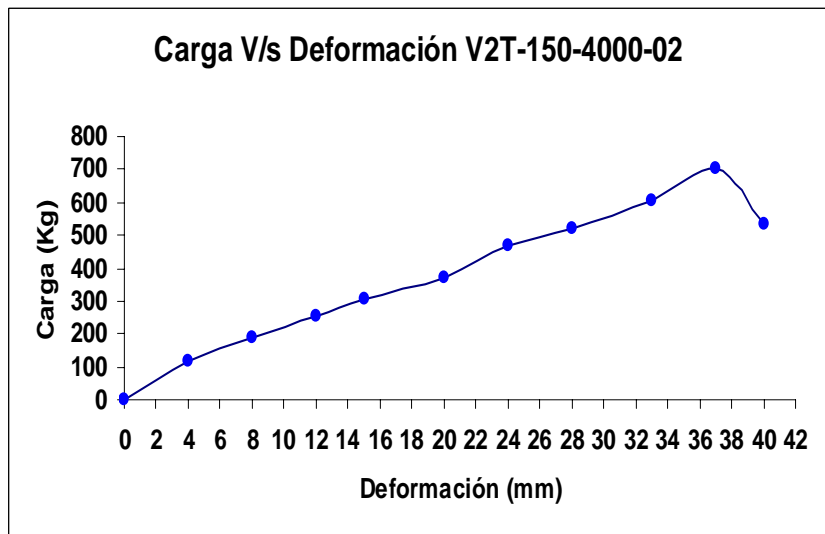
Viga 150-4000-01: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
102,68	5
186,03	9
236,04	13
269,38	18
319,39	22
336,06	26
169,36	29



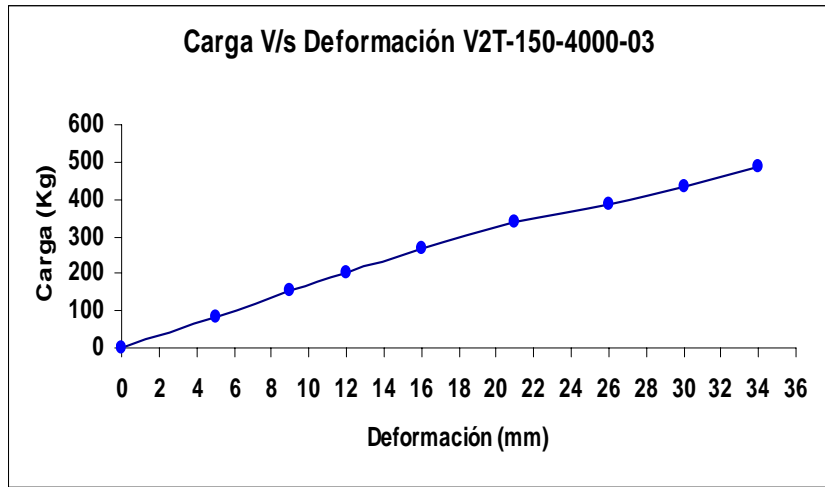
Viga 150-4000-02: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
119,35	4
186,03	8
252,71	12
302,72	15
369,4	20
469,42	24
519,43	28
602,78	33
702,80	37
536,1	40



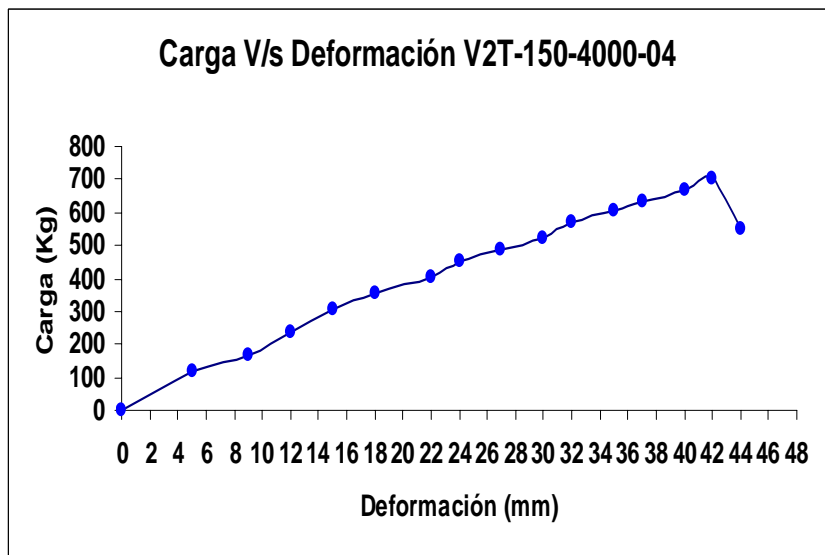
Viga 150-4000-03: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
86,01	5
152,69	9
202,7	12
269,38	16
336,06	21
386,07	26
436,08	30
486,09	34



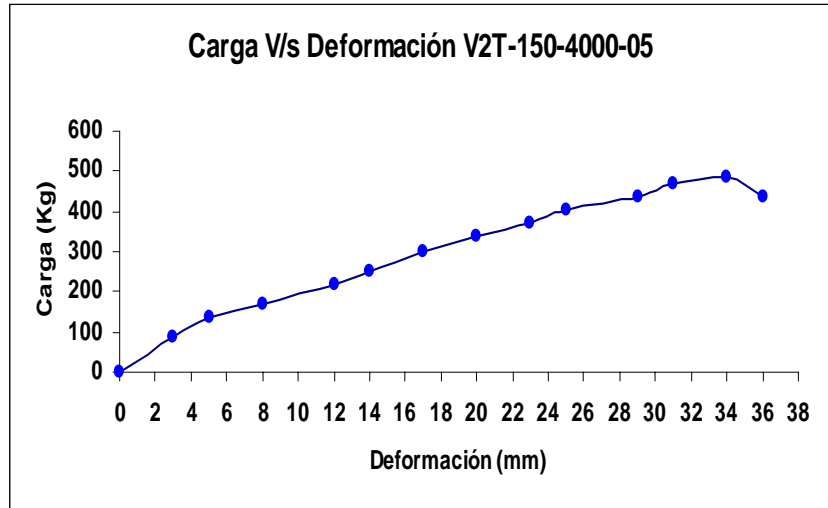
Viga 150-4000-04: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
119,35	5
169,36	9
236,04	12
302,72	15
352,73	18
402,74	22
452,75	24
486,09	27
519,43	30
569,44	32
602,78	35
636,12	37
669,46	40
702,80	42
552,77	44



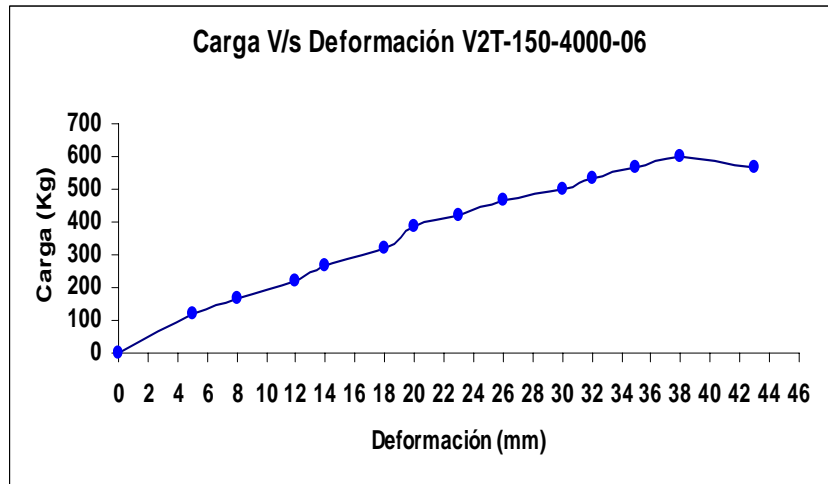
Viga 150-4000-05: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
86,01	3
136,02	5
169,36	8
219,37	12
252,71	14
302,72	17
336,06	20
369,4	23
402,74	25
436,08	29
469,42	31
486,09	34
436,08	36



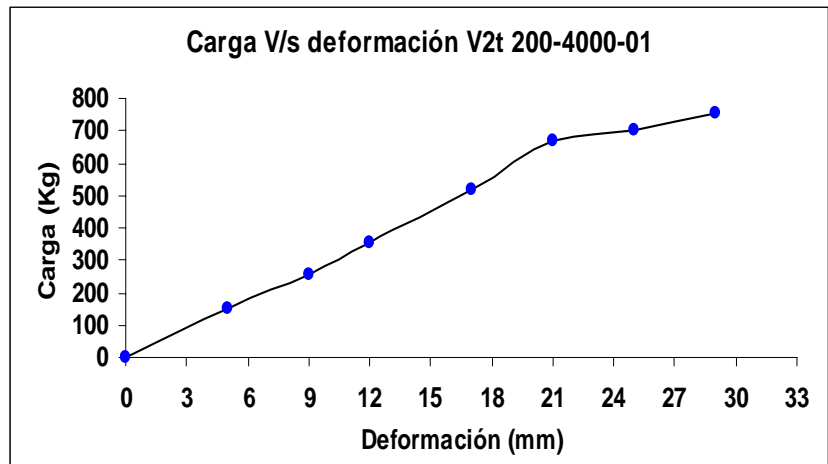
Viga 150-4000-06: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
119,35	5
169,36	8
219,37	12
269,38	14
319,39	18
386,07	20
419,41	23
469,42	26
502,76	30
536,1	32
569,44	35
602,78	38
569,44	43



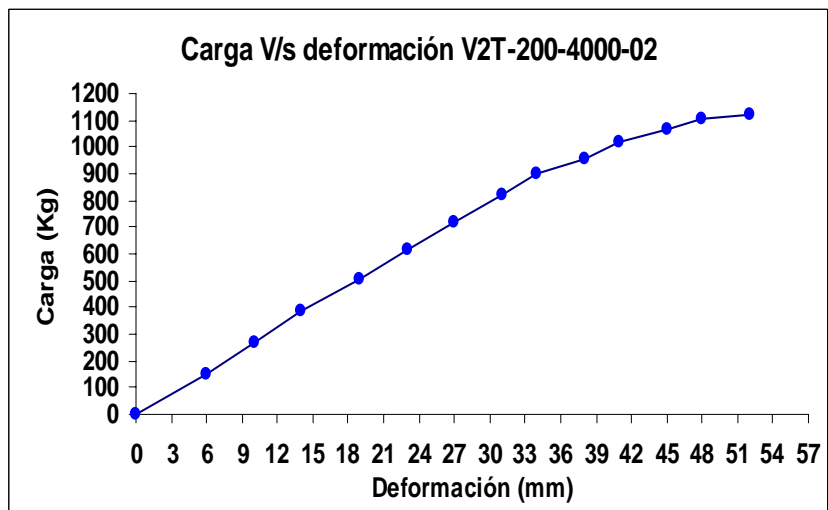
Viga 200-4000-01: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
152,69	5
252,71	9
352,73	12
519,43	17
669,46	21
702,8	25
752,81	29



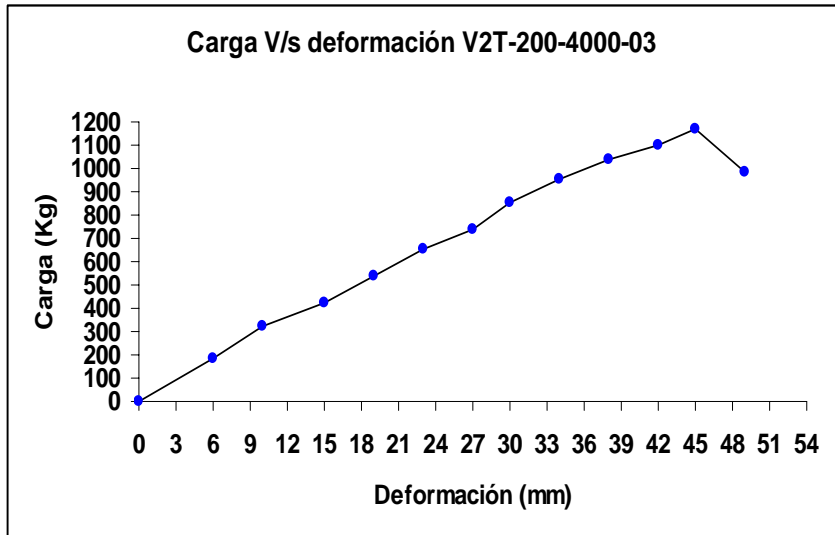
Viga 200-4000-02: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
152,69	6
269,38	10
386,07	14
502,76	19
619,45	23
719,47	27
819,49	31
902,84	34
952,85	38
1019,53	41
1069,54	45
1102,88	48
1119,55	52



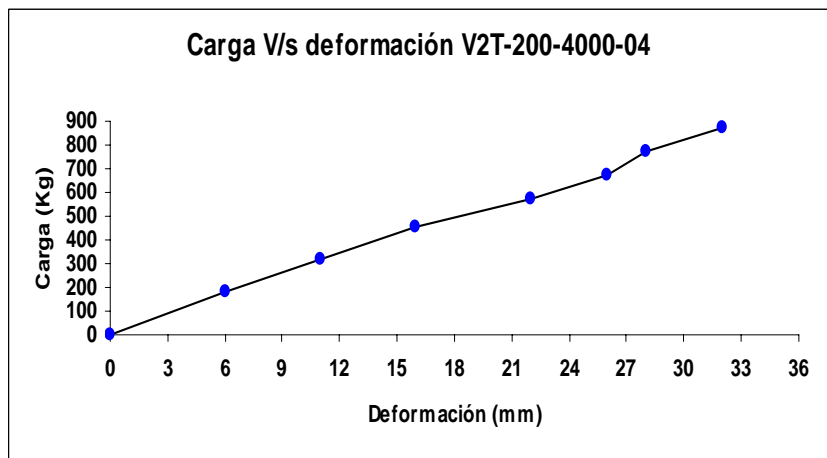
Viga 200-4000-03: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
186,03	6
319,39	10
419,41	15
536,1	19
652,79	23
736,14	27
852,83	30
952,85	34
1036,2	38
1102,88	42
1169,56	45
986,19	49



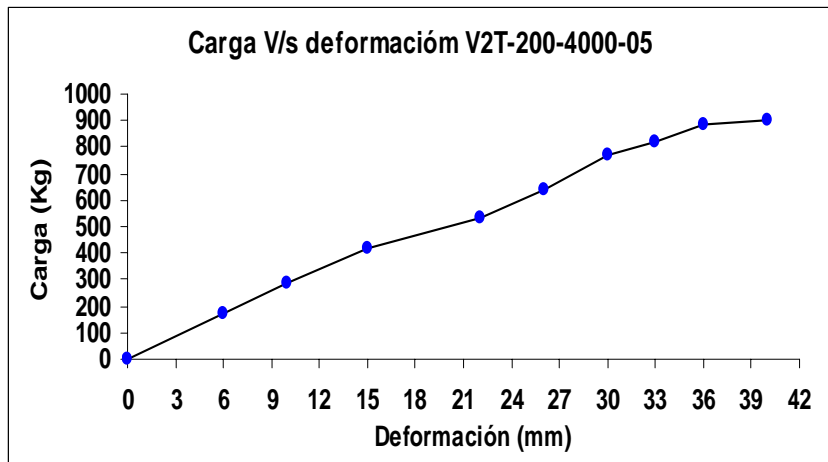
Viga 200-4000-04: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
186,03	6
319,39	11
452,75	16
569,44	22
669,46	26
769,48	28
869,5	32



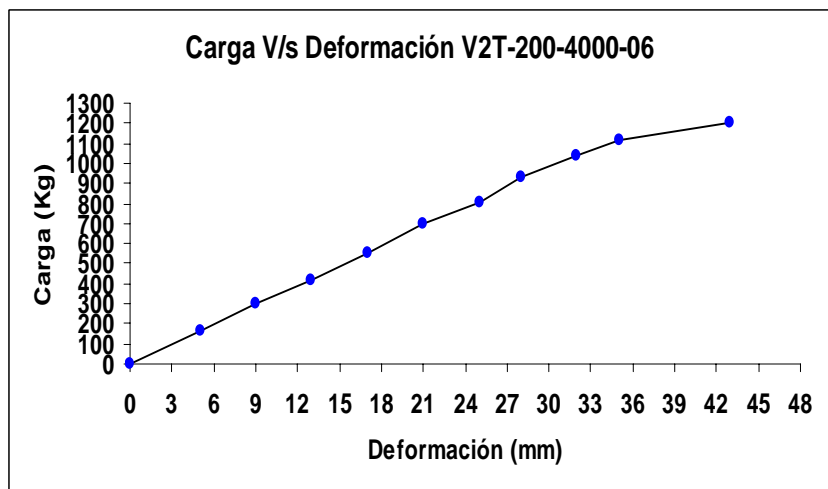
Viga 200-4000-05: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
169,36	6
286,05	10
419,41	15
536,1	22
636,12	26
769,48	30
819,49	33
886,17	36
902,84	40



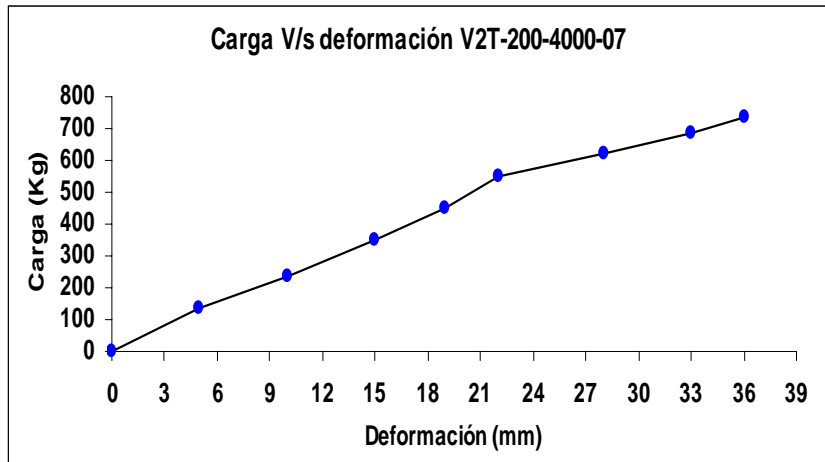
Viga 200-4000-06: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
169,36	5
302,72	9
419,41	13
552,77	17
702,8	21
802,82	25
936,18	28
1036,2	32
1119,55	35
1202,9	43



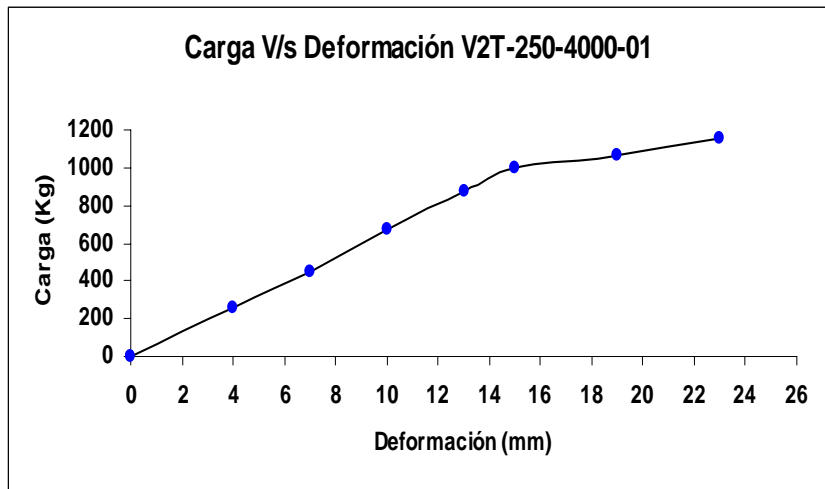
Viga 200-4000-07: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
136,02	5
236,04	10
352,73	15
452,75	19
552,77	22
619,45	28
686,13	33
736,14	36



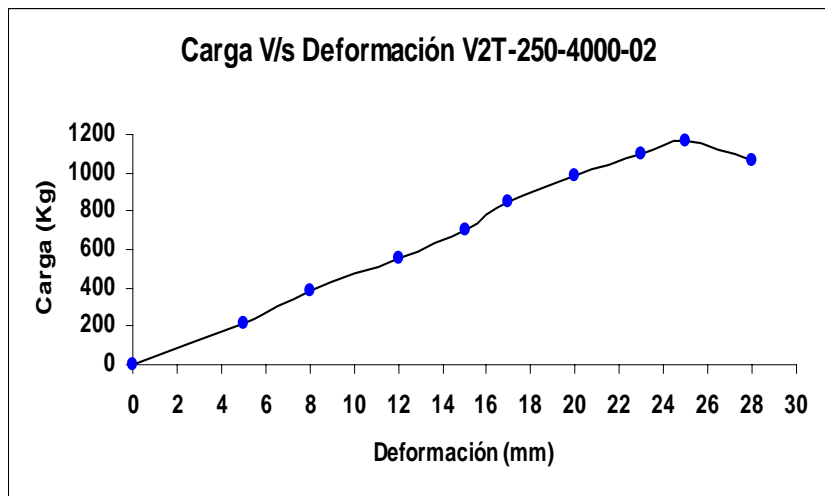
Viga 250-4000-01: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	4
452,75	7
669,46	10
869,5	13
1002,86	15
1069,54	19
1152,89	23



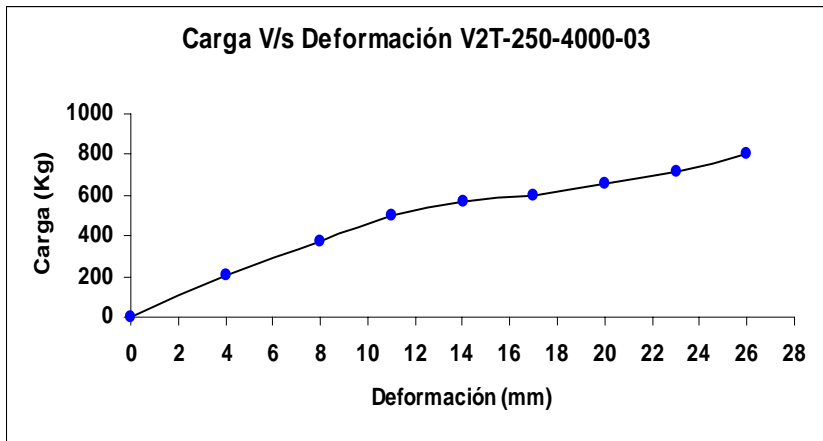
Viga 250-4000-02: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
219,37	5
386,07	8
552,77	12
702,8	15
852,83	17
986,19	20
1102,88	23
1169,56	25
1069,54	28



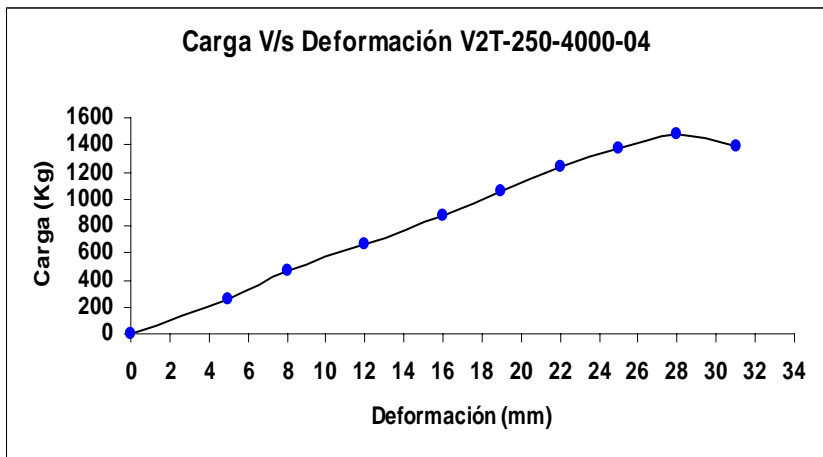
Viga 250-4000-03: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
202,7	4
369,4	8
502,76	11
569,44	14
602,78	17
652,79	20
719,47	23
802,82	26



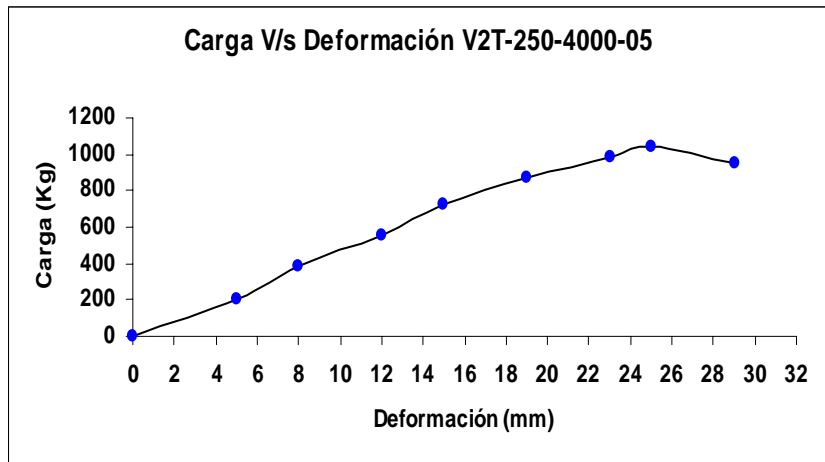
Viga 250-4000-04: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	5
469,42	8
669,46	12
869,5	16
1052,87	19
1236,24	22
1369,6	25
1486,29	28
1386,27	31



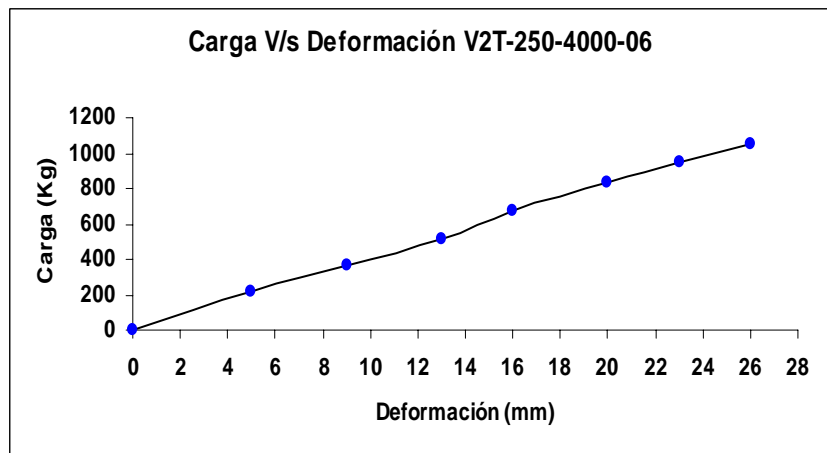
Viga 250-4000-05: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
202,7	5
386,07	8
552,77	12
719,47	15
869,5	19
986,19	23
1036,2	25
952,85	29



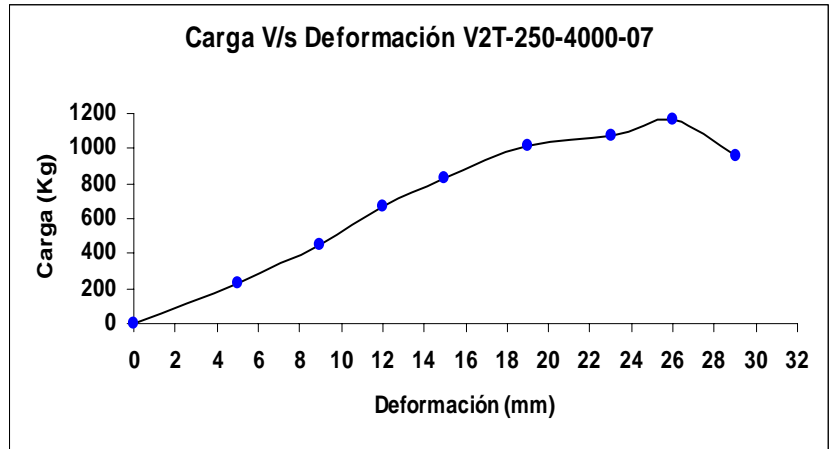
Viga 250-4000-06: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
219,37	5
369,4	9
519,43	13
669,46	16
836,16	20
952,85	23
1052,87	26



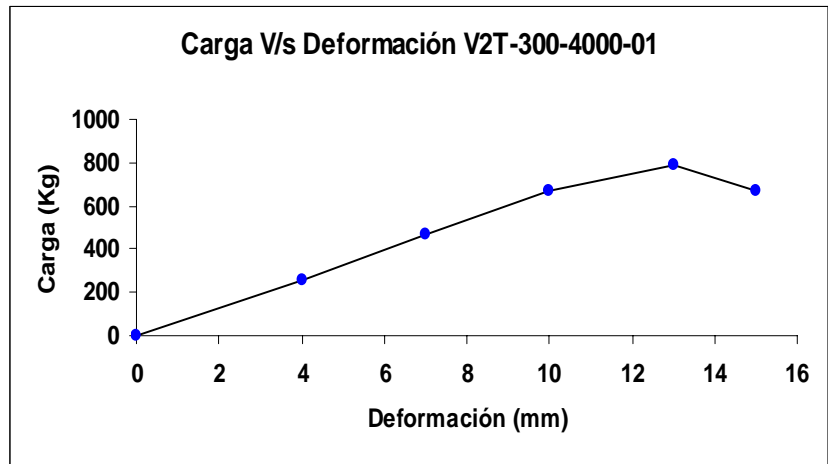
Viga 250-4000-07: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
236,04	5
452,75	9
669,46	12
836,16	15
1019,53	19
1069,54	23
1169,56	26
952,85	29



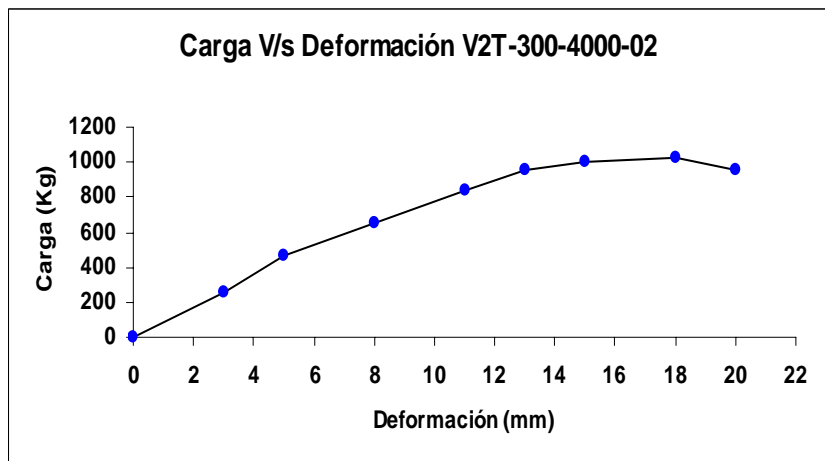
Viga 300-4000-01: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	4
469,42	7
669,46	10
786,15	13
669,46	15



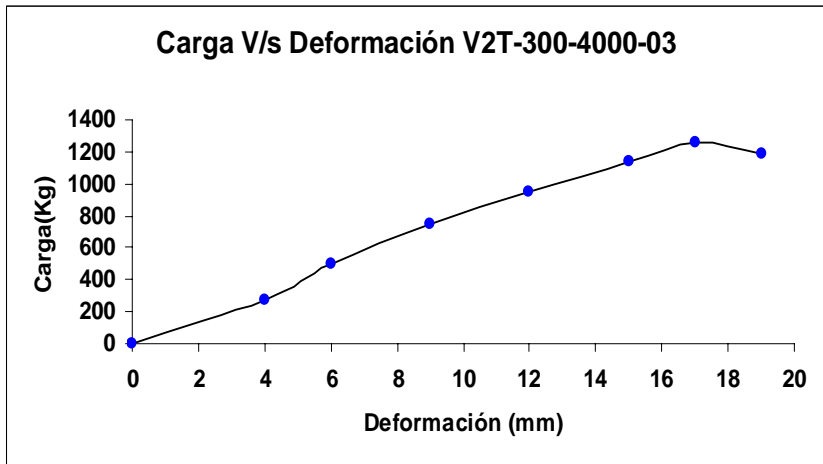
Viga 300-4000-02: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	3
469,42	5
652,79	8
836,16	11
952,85	13
1002,86	15
1019,53	18
952,85	20



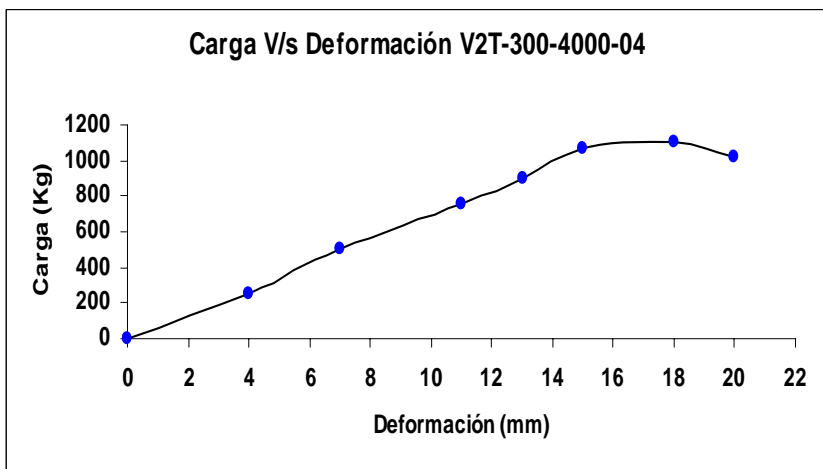
Viga 300-4000-03: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
269,38	4
502,76	6
752,81	9
952,85	12
1136,22	15
1252,91	17
1186,23	19



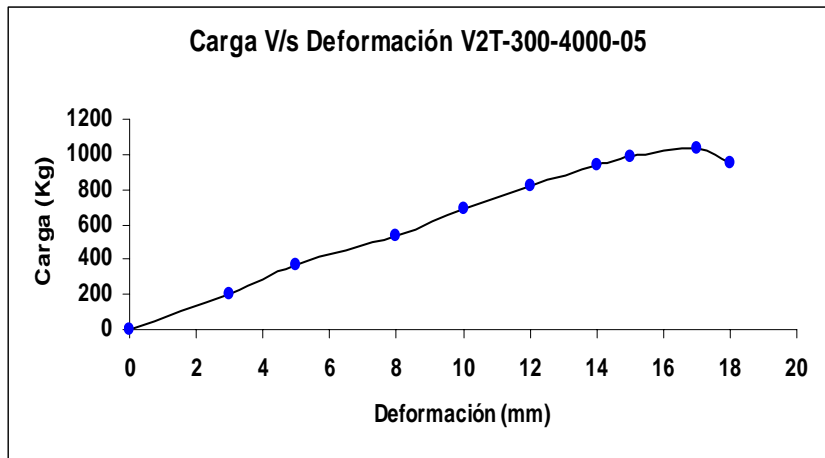
Viga 300-4000-04: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	4
502,76	7
752,81	11
902,84	13
1069,54	15
1102,88	18
1019,53	20



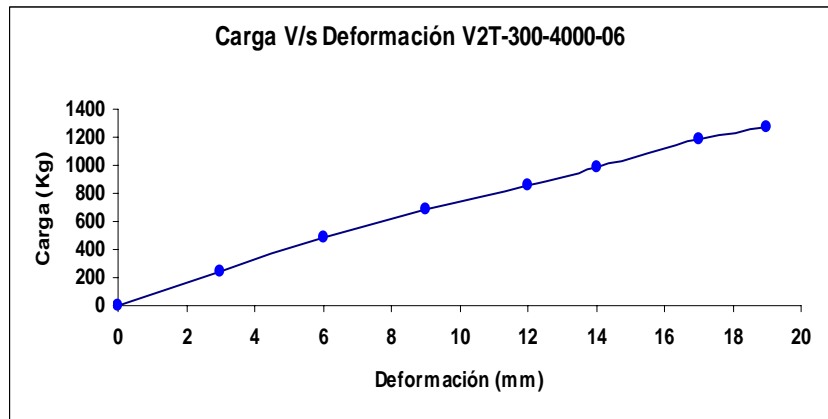
Viga 300-4000-05: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
202,7	3
369,4	5
536,1	8
686,13	10
819,49	12
936,18	14
986,19	15
1036,2	17
952,85	18



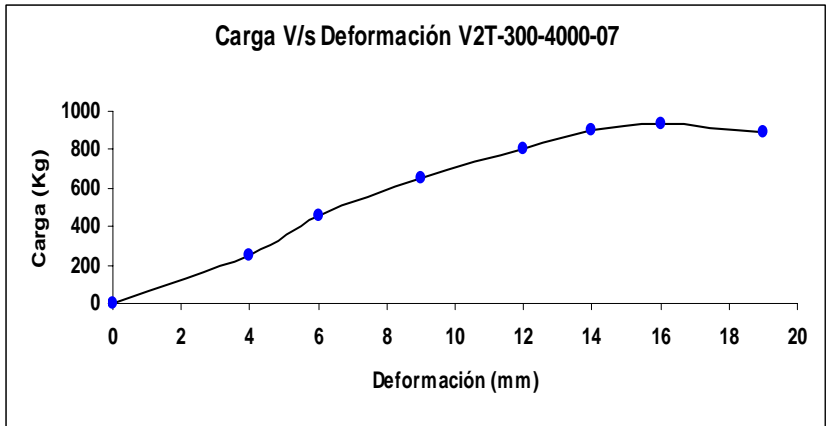
Viga 300-4000-06: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
236,04	3
486,09	6
686,13	9
852,83	12
986,19	14
1186,23	17
1269,58	19



Viga 300-4000-07: Cuadro y gráfica de Carga v/s Deformación

Carga "Q" (Kg)	f (mm)
0	0
252,71	4
452,75	6
652,79	9
802,82	12
902,84	14
936,18	16
886,17	19



Anexo 3
Cuadro general de Módulo de Elasticidad y Módulo de Rotura

MÓDULO DE ELASTICIDAD (MOE) PARA VIGAS V2T - 4000 ALMA OSB 9,5 mm

SERIE	Carga 1 (Q ₁) (Kg)	Carga 2 (Q ₂) (Kg)	Δ Carga (Kg)	Defor. 1 (f ₁) (mm)	Defor. 2 (f ₂) (mm)	Δ Defor. (mm)	Luz ensayo (L _e) (mm)	MOE (Kg/cm ²)	Promedio MOE (Kg/cm ²)
V2T - 150 - 4000 - 01	102,68	269,38	166,7	5	18	13	3600	57088	69814
V2T - 150 - 4000 - 02	252,71	519,43	266,72	12	28	16	3600	74214	
V2T - 150 - 4000 - 03	152,69	336,06	183,37	9	21	12	3600	68030	
V2T - 150 - 4000 - 04	236,04	452,75	216,71	12	24	12	3600	80399	
V2T - 150 - 4000 - 05	219,37	336,06	116,69	12	20	8	3600	64938	
V2T - 150 - 4000 - 06	269,38	469,42	200,04	14	26	12	3600	74214	
V2T - 200 - 4000 - 01	252,71	702,8	450,09	9	25	16	3600	58294	57088
V2T - 200 - 4000 - 02	152,69	619,45	466,76	6	23	17	3600	56897	
V2T - 200 - 4000 - 03	419,41	952,85	533,44	15	34	19	3600	58181	
V2T - 200 - 4000 - 04	186,03	769,48	583,45	6	28	22	3600	54958	
V2T - 200 - 4000 - 05	169,36	769,48	600,12	6	30	24	3600	51817	
V2T - 200 - 4000 - 06	302,72	802,82	500,1	9	25	16	3600	64771	
V2T - 200 - 4000 - 07	236,04	552,77	316,73	10	22	12	3600	54696	56307
V2T - 250 - 4000 - 01	252,71	1069,54	816,83	4	19	15	3600	63960	
V2T - 250 - 4000 - 02	219,37	702,8	483,43	5	15	10	3600	56781	
V2T - 250 - 4000 - 03	202,7	569,44	366,74	4	14	10	3600	43075	
V2T - 250 - 4000 - 04	469,42	1052,87	583,45	8	19	11	3600	62299	
V2T - 250 - 4000 - 05	386,07	869,5	483,43	8	19	11	3600	51619	
V2T - 250 - 4000 - 06	369,4	836,16	466,76	9	20	11	3600	49839	
V2T - 250 - 4000 - 07	452,75	1019,53	566,78	9	19	10	3600	66571	52635
V2T - 300 - 4000 - 01	252,71	669,46	416,75	4	10	6	3600	51901	
V2T - 300 - 4000 - 02	252,71	952,85	700,14	3	13	10	3600	52317	
V2T - 300 - 4000 - 03	502,76	952,85	450,09	6	12	6	3600	56054	
V2T - 300 - 4000 - 04	252,71	902,84	650,13	4	13	9	3600	53977	
V2T - 300 - 4000 - 05	202,7	686,13	483,43	3	10	7	3600	51605	
V2T - 300 - 4000 - 06	236,04	852,83	616,79	3	12	9	3600	51209	
V2T - 300 - 4000 - 07	252,71	802,82	550,11	4	12	8	3600	51382	

MÓDULO DE ROTURA (MOR) PARA VIGAS V2T - 4000 ALMA OSB 9,5 mm

SERIE	Carga (Kg)	Luz de Ens. (cm)	Peso viga (Kg)	Altura (H) (cm)	Y _{max} (cm)	Mom. Iner. (cm ⁴)	W (cm ³)	Mom. max (Kg * cm)	MOR (Kg/cm ²)	Prom. MOR (Kg/cm ²)
V2T - 150 - 4000 - 01	336,06	360	15	15	7,5	1860	247,98	21513,60	86,76	139,43
V2T - 150 - 4000 - 02	702,8	360	16	15	7,5	1860	247,98	43608,00	175,85	
V2T - 150 - 4000 - 03	486,09	360	16	15	7,5	1860	247,98	30605,40	123,42	
V2T - 150 - 4000 - 04	702,8	360	16	15	7,5	1860	247,98	43608,00	175,85	
V2T - 150 - 4000 - 05	486,09	360	15	15	7,5	1860	247,98	30515,40	123,06	
V2T - 150 - 4000 - 06	602,78	360	16	15	7,5	1860	247,98	37606,80	151,65	
V2T - 200 - 4000 - 01	752,81	360	19	20	10,0	3996	399,562	46878,60	117,32	149,18
V2T - 200 - 4000 - 02	1119,55	360	18	20	10,0	3996	399,562	68793,00	172,17	
V2T - 200 - 4000 - 03	1169,56	360	20	20	10,0	3996	399,562	71973,60	180,13	
V2T - 200 - 4000 - 04	869,5	360	18	20	10,0	3996	399,562	53790,00	134,62	
V2T - 200 - 4000 - 05	902,84	360	20	20	10,0	3996	399,562	55970,40	140,08	
V2T - 200 - 4000 - 06	1202,9	360	19	20	10,0	3996	399,562	73884,00	184,91	
V2T - 200 - 4000 - 07	736,14	360	20	20	10,0	3996	399,562	45968,40	115,05	
V2T - 250 - 4000 - 01	1152,89	360	23	25	12,5	7050	563,961	71243,40	126,33	123,47
V2T - 250 - 4000 - 02	1169,56	360	25	25	12,5	7050	563,961	72423,60	128,42	
V2T - 250 - 4000 - 03	802,82	360	23	25	12,5	7050	563,961	50239,20	89,08	
V2T - 250 - 4000 - 04	1486,29	360	25	25	12,5	7050	563,961	91427,40	162,12	
V2T - 250 - 4000 - 05	1036,2	360	25	25	12,5	7050	563,961	64422,00	114,23	
V2T - 250 - 4000 - 06	1052,87	360	24	25	12,5	7050	563,961	65332,20	115,85	
V2T - 250 - 4000 - 07	1169,56	360	24	25	12,5	7050	563,961	72333,60	128,26	
V2T - 300 - 4000 - 01	786,15	360	28	30	15,0	11081	738,728	49689,00	67,26	89,28
V2T - 300 - 4000 - 02	1019,53	360	27	30	15,0	11081	738,728	63601,80	86,10	
V2T - 300 - 4000 - 03	1252,91	360	28	30	15,0	11081	738,728	77694,60	105,17	
V2T - 300 - 4000 - 04	1102,88	360	27	30	15,0	11081	738,728	68602,80	92,87	
V2T - 300 - 4000 - 05	1036,2	360	28	30	15,0	11081	738,728	64692,00	87,57	
V2T - 300 - 4000 - 06	1269,58	360	28	30	15,0	11081	738,728	78694,80	106,53	
V2T - 300 - 4000 - 07	936,18	360	28	30	15,0	11081	738,728	58690,80	79,45	